4/11
P 1497

inra

N. P.
SERVICE DE DOCUMENTATION
- 9 OCT 1981
CHATENAY-MALABRY

CENTRE DE RECHERCHES ZOOTECHNIQUES
ET VETERINAIRES DE THEIX

BTT-46

BULLETIN TECHNIQUE

N°45 - SEPTEMBRE 1981

trimestriel

ISSN 0395-7519

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

CENTRE DE RECHERCHES ZOOTECHNIQUES ET VETERINAIRES DE THEIX

BULLETIN TECHNIQUE

N°45 - SEPTEMBRE 1981

C.R.Z.V. de Theix - 63110 BEAUMONT - Tel. (73) 92.42.63

Sommaire

M. Vermorel - Les recherches menées au laboratoire d'étude du métabolisme énergétique..... 5

C. Demarquilly - Appétibilité et emploi des flaveurs dans les aliments des ruminants..... 11

R.Vérité, J.P. Dulphy avec la collaboration de **Mme E. Wegat-Litre, J.P. Andrieu, B. Marquis, A. Ollier, P. Favre** - Effet de la nature de l'aliment concentré sur l'ingestion et les performances des vaches laitières..... 15

C. Valin - La stimulation électrique des carcasses..... 23

C. Remesy, C. Demigne - Les principaux aspects du métabolisme du glucose et des acides aminés chez la vache laitière..... 27

R. Giovanni - Utilisation du pois et du lupin en remplacement du tourteau de soja par l'agneau en croissance et à l'engraissement..... 37

B. Aurousseau - Elaboration des lipides corporels et valeur des carcasses des ruminants..... 43

Ve Symposium International sur la Physiologie des Ruminants

J.P. Jouany - III - Microbiologie du rumen..... 51

C. Poncet - IV - La digestion chez le ruminant et ses manipulations..... 57

Articles scientifiques parus en 1980..... 63

I.N.R.A. I.T.O.V.I.C.

Une date à retenir ! ...

2-3 DECEMBRE 1981

JOURNEES DE LA RECHERCHE OVINE ET CAPRINE

à TOULOUSE

sur le thème

PRODUCTION LAITIERE DES BREBIS ET DES CHEVRES

Programme et conditions d'inscription sur demande :

I.T.O.V.I.C., 149, rue de Bercy, 75595 PARIS CEDEX 12

Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., 1981 (45) 5-10

Les recherches menées au laboratoire* d'étude du métabolisme énergétique

M. VERMOREL

Laboratoire d'Etude sur le Métabolisme Energétique

Dans un précédent article de cette revue (n° 14, 1973), nous avons présenté les activités de notre Laboratoire en insistant sur les méthodes d'étude du métabolisme énergétique. Nous rapportons ici les travaux réalisés depuis et les orientations nouvelles du Laboratoire.

1 - Intérêt des études sur le métabolisme énergétique

Les dépenses d'alimentation représentent de l'ordre de 70 p.100 des coûts de production aussi bien pour les monogastriques que pour les ruminants. Sur le plan nutritionnel, l'énergie qui constitue l'élément majeur des apports alimentaires, est aussi généralement le facteur limitant primaire de beaucoup de productions (croissance, lactation...). Enfin, les réserves énergétiques corporelles (lipides essentiellement) constituent un volant indispensable pour couvrir les dépenses des animaux à des stades physiologiques particuliers (naissance, sevrage, fin de gestation, début de lactation...) ou pour résister à des conditions climatiques défavorables.

Il est donc très important de connaître avec précision les différents éléments de l'équilibre nutritionnel à réaliser : 1) la valeur énergétique des aliments, 2) les besoins énergétiques des animaux et leurs facteurs de variations (espèce, stade physiologique, fonction, type de production, variabilité individuelle...), 3) les mécanismes d'utilisation de l'énergie par l'organisme dans ces différents états physiologiques. Les études de métabolisme énergétique intéressent donc de nombreux secteurs des productions animales.

* Composition actuelle du Laboratoire : 3 scientifiques (B. AUROUSSEAU, D. BAUCHART, M. VERMOREL), 1 ingénieur (J. VERNET), 3,5 agents techniques de laboratoire (Françoise DUBOISSET, Simone GASNET, Christiane LEGAY, Marinette MEYER), 2 techniciens (M. DONDAINAS, J.P. DONNAT) chargés du fonctionnement des chambres respiratoires, 2,5 tecnniciens animaliers (Y. ANGLARET, C. LEOTY, R. SOUCHET), 0,5 agent de service (Martine COUTURIER), 1 secrétaire (Marie-José MONSEGU)

2 - Place du laboratoire au Centre INRA de Theix et thèmes de recherches

Plusieurs équipes de recherche du C.R.Z.V. qui s'intéressent aux modes d'élevage et à l'alimentation des ruminants se sont heurtées à des obstacles concernant différents aspects de l'utilisation de l'énergie. L'importance de ces problèmes sur le plan économique et leur intérêt scientifique, ainsi que la particularité des méthodes et la spécificité des équipements nécessaires aux études du métabolisme énergétique (chambres respiratoires et centrale de mesure disponibles seulement dans notre laboratoire), nous ont amenés à développer plusieurs thèmes de recherches en collaboration avec différents laboratoires du même Centre :

- l'estimation de la valeur énergétique nette des divers types de fourrages dont l'ingestibilité et l'utilisation digestive sont déterminées avec des moutons ; la détermination de la valeur énergétique de nouveaux types de rations (Laboratoire des Aliments, Laboratoire de la Digestion) ;

- l'efficacité d'utilisation de l'énergie métabolisable des rations par les animaux en croissance, leurs besoins d'entretien et de production et l'origine des variations selon le type d'animal (agneaux, veaux, taurillons), le génotype et le stade physiologique (Laboratoire de la Production de Viande, Laboratoire de la Production Ovine) ;

- l'utilisation de l'énergie métabolisable des rations pour la constitution des réserves corporelles des femelles reproductrices (vache, brebis) ; l'intensité des mobilisations et l'efficacité d'utilisation de ces réserves en début de lactation (Laboratoire de la Production Laitière, Laboratoire de la Production Ovine) ;

- la résistance des animaux nouveau-nés (agneaux, veaux) à l'environnement et, en particulier, leurs capacités de mobilisation de leurs réserves corporelles pour assurer leur thermorégulation (Laboratoire des Maladies Métaboliques, Département d'Elevage des Ruminants).

En complément de ces études conduites par M. VERMOREL avec J.C. BOUVIER initialement et avec J. VERNET depuis 1981, B. AUROUSSEAU et D. BAUCHART ont développé des recherches sur l'utilisation métabolique des nutriments et le métabolisme lipidique des animaux en croissance (le veau préruminant dans un premier temps), pour améliorer la connaissance des mécanismes mis en jeu et pouvoir ainsi mieux interpréter les résultats relatifs à l'utilisation de l'énergie et au développement corporel des animaux.

Ce nouveau secteur vient ainsi compléter les recherches à caractère assez fondamental conduites sur le métabolisme protéique de l'animal en croissance par M. ARNAL et P. PATUREAU-MIRAND, sur le mode d'action de certaines hormones par J. GRIZARD (Laboratoire d'Etude du Métabolisme Azoté), ainsi que sur le développement et l'activité des tissus adipeux par J. ROBELIN (Laboratoire de la Production de Viande) et Y. CHILLIARD (Laboratoire de la Production Laitière).

3 - Valeur énergétique des aliments et des rations pour les ruminants

L'objectif de ces études est la détermination de la valeur énergétique nette des aliments destinés aux ruminants et, en particulier, celle de nouveaux types de rations de plus en plus utilisés (ensilages, sous-produits divers...) mais encore mal connus sur le plan nutritionnel. Les quantités d'énergie, de protéines et de lipides fixées par les animaux sont déterminées soit par abattage et détermination de la composition corporelle dans le cas des agneaux, soit par calorimétrie indirecte à l'aide de chambres respiratoires dans le cas des agneaux et des moutons. Les mesures effectuées à deux niveaux d'alimentation permettent de calculer le rendement de transformation de l'énergie métabolisable (EM) en énergie nette (EN).

- Les premiers travaux ont montré l'intérêt pour l'agneau de boucherie des rations équilibrées à base de maïs grain ou d'orge par rapport aux rations à base de blé ou de sorgho (VERMOREL, THIVEND et THERIEZ, 1970). De même, nous avons pu préciser l'intérêt du conditionnement des fourrages (en particulier de la luzerne) sur leur valeur énergétique nette et sur la quantité d'énergie fixée par les animaux en croissance (VERMOREL, BOUVIER et DEMARQUILLY, 1974).

- Nous sommes intéressés ensuite aux intéractions entre les fourrages et les aliments concentrés au sein d'une ration, en particulier chez les animaux qui ont un niveau d'alimentation élevé, tant sur le plan de l'utilisation digestive que sur le plan du rendement d'utilisation de l'EM et de la teneur en énergie nette. Ces interactions nous ont conduits à introduire dans le nouveau système des UFL (INRA, 1978) des corrections pour tenir compte des phénomènes d'associativité et de l'effet du niveau d'alimentation. Nous avons étudié ensuite chez l'Agneau à l'engrais l'influence de la qualité et du mode de présentation du fourrage (foin long ou condensé) et l'effet du taux d'incorporation de concentré (de 0 à 85 p.100) dans la ration.

- A la suite de la sécheresse de 1976, l'utilisation des pailles s'est développée et différentes techniques de traitement (soude, ammoniaque,...) ont fait leur apparition. DULPHY et DEMARQUILLY (1979) ont montré que ces traitements améliorent la digestibilité et les quantités ingérées, mais que l'augmentation de la digestibilité est réduite lorsque la proportion de concentré dans la ration s'accroît et que le niveau d'alimentation s'élève ; le phénomène semble varier également selon la composition de l'aliment concentré. Nous avons voulu préciser ces phénomènes d'associativité et déterminer la valeur énergétique nette des rations à base de paille normale ou de paille traitée comportant de 10 à 50 p.100 de concentré à base de maïs ou de pulpes de betteraves (dépouillement en cours).

- Ces études doivent être poursuivies par des travaux sur les rations à base d'ensilages de maïs ou d'herbe qui sont de plus en plus utilisées. Si l'appétibilité de ces ensilages et leur digestibilité ont bien été étudiées au Laboratoire des Aliments (DEMARQUILLY *et al.*,) on connait encore mal leur valeur énergétique nette pour les animaux en croissance ainsi que les phénomènes d'associativité avec les aliments concentrés qui semblent importants.

- Enfin, l'expérience acquise dans le domaine de la nutrition énergétique nous a permis de contribuer à la mise au point des systèmes UFL et UFV de prévision et d'expression de la valeur énergétique des aliments pour les ruminants et à l'élaboration des recommandations énergétiques (INRA, 1978). Ces nouveaux systèmes sont maintenant largement utilisés en France.

4 - Utilisation de l'énergie par les ruminants en croissance

En dépit de l'importance des problèmes de production de viande (coût de l'alimentation, qualité des carcasses...), les connaissances sur l'utilisation de l'énergie pour la croissance sont encore très limitées et les résultats souvent contradictoires, surtout chez les ruminants. On utilise pour les aliments destinés aux ruminants en croissance les valeurs énergétiques déterminées chez des animaux adultes (moutons, boeufs), sans savoir si cette généralisation est possible.

On connaissait mal, il y a quelques années encore, l'utilisation digestive des aliments chez les ruminants en croissance, les pertes d'énergie sous forme de méthane et dans l'urine et l'efficacité d'utilisation de l'énergie métabolisable. Nous avons montré que la diminution fréquente de digestibilité des aliments chez les jeunes ruminants est compensée par des pertes d'énergie dans l'urine et sous forme de méthane plus faibles que chez l'adulte et qu'au total, la teneur en énergie métabolisable des aliments n'est pas significativement différente (VERMOREL et BICKEL, 1980).

Comme chez les monogastriques, il semble que la dépense énergétique des ruminants en croissance augmente avec la quantité de protéines fixées ; selon les expériences, ce phénomène se traduit soit par une augmentation du besoin d'entretien, soit par une diminution du rendement d'utilisation de l'énergie métabolisable pour la croissance. Il pourrait résulter du renouvellement important des protéines de l'organisme, mais ce n'est probablement pas le seul facteur.

En complément des travaux réalisés au Laboratoire de la Production de Viande (C. BERANGER, Y. GEAY et J. ROBELIN) sur les variations de la composition corporelle et du croît des jeunes bovins en fonctions du génotype, du sexe, du poids et de la vitesse de croissance, nous avons entrepris

plusieurs études sur l'utilisation de l'énergie par les taurillons en croissance, à l'aide des chambres respiratoires :

- l'influence de la composition de la ration : distribution de lait jusqu'aux âges de 10 semaines (sevrage précoce) ou de 9 mois (veau au pis), en complément du fourrage et de l'aliment concentré (VERMOREL, BOUVIER et GEAY, 1980).
- les variations d'efficacité d'utilisation de l'énergie métabolisable et du besoin d'entretien en fonction de l'âge (5 semaines, 10 semaines, 5 mois et 8 mois) et du niveau d'alimentation (VERMOREL, BOUVIER et GEAY, 1981).
- l'utilisation comparée d'une même ration par des agneaux ou des taurillons et des moutons adultes (BOUVIER et VERMOREL, 1975 ; VERMOREL, BOUVIER et GEAY, 1981).
- l'influence du génotype (taurillons de race frisonne ou de race charolaise, normaux ou culards) sur le rendement de l'utilisation de l'énergie métabolisable et le besoin d'entretien, entre les âges de 2 et 20 mois (VERMOREL, BOUVIER et GEAY, 1976).
- l'origine des différences très importantes d'efficacité alimentaire observées au sein d'une même race et d'un même lot, chez des taurillons frisons ou charolais , entre les âges de 7 et 15 mois (dépouillement en cours).

De nombreux aspects restent à étudier ou à préciser, en particulier les variations des quantités d'énergie fixée, du rendement d'utilisation de l'énergie métabolisable et du besoin d'entretien en fonction du génotype, de l'âge, de la vitesse de croissance ; les phénomènes qui ont lieu au cours de la période de sevrage et au cours des ''paliers de croissance'' (restrictions alimentaires suivies de périodes d'engraissement) qui semblent être un procédé intéressant sur le plan pratique. Pour progresser dans ce domaine, il est nécessaire d'analyser les phénomènes métaboliques conduisant à ces variations d'efficacité d'utilisation de l'énergie (renouvellement des protéines et des lipides, régulation hormonale...).

5 - Mobilisation et reconstitution des réserves corporelles chez les femelles laitières

Au cours des premières semaines de lactation, les femelles fortes productrices doivent puiser dans leurs réserves corporelles (lipides essentiellement) pour couvrir les dépenses énergétiques très élevées correspondant à la production importante d'un lait riche en lipides et en protéines. En effet, leur capacité d'ingestion est réduite au moment du vêlage et augmente progressivement, pendant 3 mois environ chez la vache (M. JOURNET, B. REMOND et R. VERITE). L'équilibre énergétique n'est atteint qu'au bout de 2 à 3 mois selon la production laitière de la vache et la valeur nutritive de la ration.

Avec l'accroissement du potentiel laitier des vaches, dû en particulier à l'introduction de sang Holstein, la mobilisation des réserves corporelles en début de lactation risque de s'accentuer, surtout si l'utilisation maximale des fourrages reste un objectif prioritaire pour des raisons économiques.

Chez la brebis, la situation est voisine ; la mobilisation des réserves commence bien avant la mise-bas chez les femelles qui portent plusieurs foetus et elle se poursuit avec intensité en raison de l'augmentation de la production laitière qui en résulte. La mobilisation des réserves corporelles tend donc à croître avec l'augmentation de la fertilité et se trouve accentuée par la restriction alimentaire (faible apport de concentré) imposée pour des raisons économiques.

Il est donc nécessaire de connaître les capacités de mobilisation des réserves corporelles des femelles selon l'espèce, le génotype, l'âge, le niveau de production laitière ; les variations de la mobilisation au cours des semaines suivant la mise-bas ; l'efficacité d'utilisation de l'énergie mobilisée pour la lactation ; les conséquences d'une mobilisation accrue des réserves sur la production laitière, l'état de santé des animaux, la fertilité ultérieure ; les possibilités de contrôler la mobilisation par le biais de l'alimentation (équilibre énergie-azote...).

En raison de l'importance économique et de l'intérêt scientifique de ces problèmes et compte-tenu des moyens d'investigation dont nous disposons, nous avons entrepris 2 séries d'études en collaboration avec nos collègues du Laboratoire de la Production Laitière et du Laboratoire de la Production Ovine.

Etudes entreprises chez la vache laitière

Les travaux réalisés au cours des dernières années au Laboratoire de la Production Laitière (M. JOURNET, B. REMOND, R. VERITE) ont montré que la satisfaction des besoins azotés de la vache dès le début de la lactation entraînait une augmentation de la production laitière chez les animaux alimentés en quantité limitée (VERITE, HODEN et JOURNET, 1974). De plus, chez les vaches alimentées *ad libitum,* elle permet un accroissement des quantités de fourrage ingérées, une amélioration de l'état sanitaire et de la fertilité (REMOND *et al.,* 1981).

Dans un premier temps, nous avons cherché à déterminer si l'augmentation de la production laitière résultait d'une amélioration de la digestibilité de la ration et, par suite, d'un accroissement de l'apport d'énergie métabolisable et d'acides aminés, ou d'une augmentation de la mobilisation des réserves corporelles.

L'étude a porté sur 18 vaches (9 couples) dont la production était comprise entre 22 et 45 kg de lait par jour. Les bilans énergétiques ont été déterminés à l'aide de 2 chambres respiratoires (fig. 1) au cours des 3e, 6e et 9e semaines de lactation.

En première analyse, l'amélioration de la digestibilité est faible et n'est significative que pour l'azote au cours des premières semaines. L'amélioration de la production laitière et du taux butyreux résultent à la fois d'une augmentation des quantités d'aliment ingérées et de l'accroissement de la mobilisation des réserves corporelles. L'efficacité d'utilisation de l'énergie n'est pas modifiée et les rendements correspondent à ceux obtenus par d'autres auteurs. L'analyse détaillée des résultats qui est en cours, permettra en particulier de relier les paramètres sanguins du métabolisme énergétique et du métabolisme azoté aux bilans énergétiques et azotés.

L'étude entreprise récemment a pour objectifs 1) de préciser

l'effet de l'apport d'azote non protéique (urée) destiné à satisfaire les besoins en azote fermentescible des microorganismes du rumen, 2) de déterminer l'influence de la "qualité" (proportion faible ou élevée d'acides aminés indispensables) des protéines digestibles dans l'intestin (PDIA) sur la production laitière, la mobilisation des réserves corporelles, la rétention azotée et l'efficacité d'utilisation de l'énergie pour la lactation.

Ces mesures de bilan entrent dans le cadre d'une recherche plus large comprenant également une étude de la digestion dans le rumen et dans l'intestin et une étude des profils sanguins biochimiques et hormonaux en vue d'essayer d'interpréter les résultats obtenus sur le plan zootechnique dans un essai d'alimentation.

Etudes entreprises chez la brebis

Les travaux déjà réalisés par M. TISSIER et M. THERIEZ sur la mobilisation des réserves corporelles en début de lactation chez les brebis nourrices, par la méthode de l'eau lourde, seront complétés en 1982 par des mesures en chambres respiratoires avec des brebis de race laitière, traites. Les bilans seront déterminés au cours des 2e et 5e semaines de lactation, chez des brebis ayant des potentialités de production laitière différentes.

Les études sur l'efficacité d'utilisation de l'énergie pour la reconstitution des réserves corporelles sont réalisées avec des brebis fraîchement taries. Les bilans énergétiques sont obtenus à l'aide des chambres respiratoires, avec des brebis de 3 génotypes différents (laitières, rustiques ou de race à viande) qui ont probablement des besoins et des capacités de fixation d'énergie différents. Parallèlement à ces travaux, nos collègues du Laboratoire de la Production Ovine déterminent les quantités de protéines et de lipides fixées sur des périodes de plus longue durée à partir des variations de la composition corporelle (estimée par la technique de diffusion de l'eau lourde). Les teneurs en métabolites sanguins (acides gras libres, corps cétoniques, en particulier) seront déterminées pour essayer de relier quantitativement ces paramètres aux bilans énergétiques.

6 - Vitalité du veau et de l'agneau nouveau-nés; Etude de la thermorégulation et du métabolisme énergétique

La mortalité et la morbidité périnatales sont très importantes chez les veaux et les agneaux (10 à 25 p.100). Le taux de mortalité est de l'ordre de 15 p.100 chez les agneaux nés en bergerie et de 25 p.100 pour les agneaux nés en plein air et sans surveillance. La mortalité est surtout importante le premier jour chez les agneaux et les 2 premiers jours chez les veaux. Il existe des différences importantes selon la race, le poids de naissance et la durée de gestation (Y. VILLETTE et A. BRELURUT, 1980).

Les études d'ALEXANDER en Australie ont permis de préciser les capacités de thermorégulation de l'Agneau nouveau-né en fonction du poids de naissance, de l'alimentation, des caractéristiques de la toison et des conditions climatiques. Mais ces études ont porté surtout sur des agneaux simples et sur quelques doubles, tous de bonne vitalité.

Dans le cadre de l'Action Thématique Programmée lancée par l'I.N.R.A. en 1979 sur la vitalité des animaux nouveau - nés, nous avons entrepris une étude de la thermorégulation et du métabolisme énergétique du Veau et de l'Agneau nouveau - nés. Ce travail est réalisé en collaboration avec nos collègues du Département d'Elevage des Ruminants et du Département de Recherches Vétérinaires.

La thermorégulation et le métabolisme énergétique constituent, en effet, des critères intéressants de la vitalité du nouveau-né, c'est-à-dire de ses capacités de lutte contre les agressions de la vie aérienne, en particulier les conditions climatiques et le jeûne. Ils mettent en jeu les principales fonctions physiologiques et métaboliques permettant l'augmentation de la thermogénèse et la réduction de la thermolyse. Ces mesures sont complétées par des observations cliniques permettant d'apprécier la vitalité des animaux, et des mesures d'ordre métabolique et hormonal, en vue d'interpréter les résultats obtenus sur le plan "énergétique".

Les facteurs étudiés sont les suivants : *le génotype* : veaux de race laitière (pie noire) ou de race à viande (charolaise, salers) ; agneaux de race limousine ou Ile-de-France ; *le numéro de gestation de la mère ; la taille de la portée ; la durée de gestation ; le poids de naissance* et *les difficultés de mise bas.*

Une heure après la naissance, les animaux sont placés dans les chambres respiratoires (fig. 2) à une température de 10°C, suffisante pour stimuler leur métabolisme. Les échanges respiratoires, donc la thermogénèse, ainsi que les températures rectale et cutanée, la fréquence cardiaque, sont mesurés en continu pendant 23 heures, avec des observations sur le tremblement ou le frisson. Des prélèvements de sang sont effectués régulièrement pour suivre les variations du pH, des métabolites énergétiques et hormonaux et des principales hormones.

Les premiers résultats obtenus chez l'Agneau montrent que les 3 ou 6 premières heures de la vie, correspondant au séchage de la toison, sont les plus délicates. La dépense énergétique est 2 fois plus importante au cours des premières heures qu'au bout de 15 h et varie selon le génotype. L'ingestion du colostrum est très importante également sur le plan énergétique. La diminution de la température rectale au cours des premières minutes, qui n'est que de 0,5°C environ chez les animaux à forte vitalité, est de l'ordre de 2 à 5°C chez les animaux à faible vitalité et peut aller jusqu'à la mort de l'agneau. Elle semble correspondre à une absence ou un retard de l'augmentation du métabolisme, confirmée chez l'Agneau prématuré.

Les premiers résultats obtenus chez le Veau nouveau-né sont du même ordre et mettent en évidence l'importance des difficultés de vêlage. Les recherches vont s'orienter vers l'analyse des mécanismes responsables de ces phénomènes chez les animaux à faible vitalité et vers l'étude de traitements destinés à stimuler certaines fonctions physiologiques ou le métabolisme (analeptiques cardio-respiratoires, thérapeutique hormonale ou chimique).

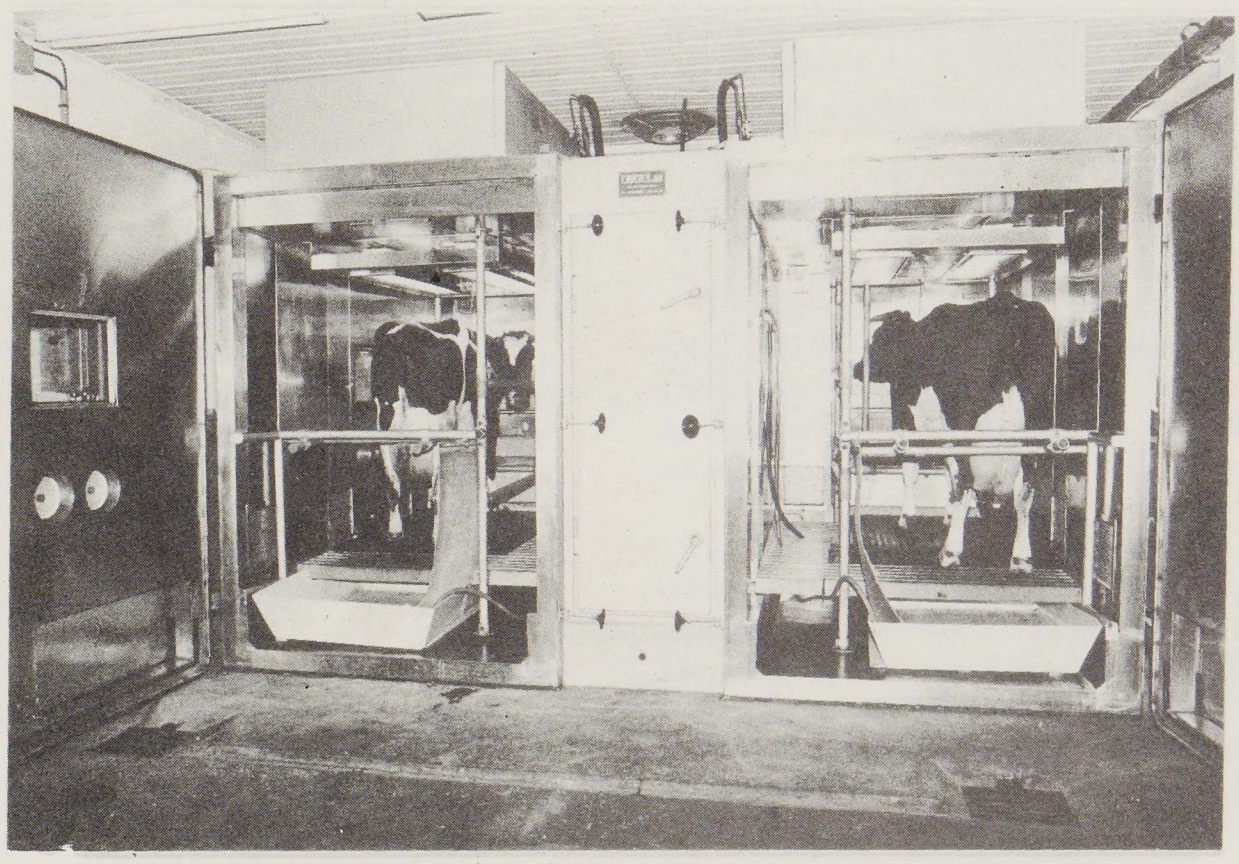


FIG. 1 : Vue d'ensemble des deux chambres respiratoires pour gros bovins

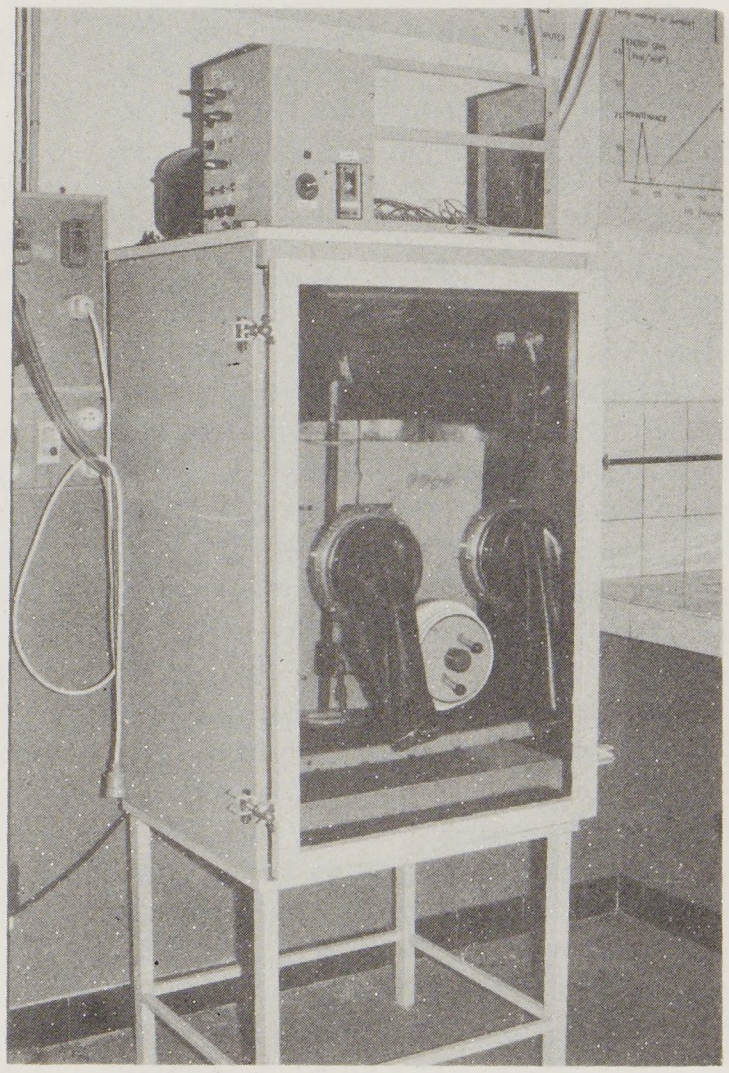


FIG. 2 : Vue d'une des deux chambres respiratoires réalisées et utilisées pour les études sur agneaux nouveau-nés

7 - Métabolismes énergétique et lipidique des animaux préruminants

Les recherches développées sur ce thème par B. AUROUSSEAU et D. BAUCHART sont motivées par des problèmes économiques et scientifiques importants, relatifs d'une part aux caractéristiques des animaux à la naissance et à l'influence de l'alimentation néonatale sur l'expression de leurs potentialités génétiques et leurs performances à long terme et, d'autre part, à la maîtrise du développement des différents tissus de l'organisme, en liaison avec la qualité des carcasses produites.

. Composition corporelle de l'Agneau nouveau-né

L'augmentation de la prolificité des brebis entraîne une diminution du poids de naissance des agneaux et une réduction des performances ultérieures chez les plus petits. Les analyses effectuées sur 76 agneaux morts accidentellement à la naissance montrent que la composition corporelle est en général indépendante du poids de naissance, sauf chez les agneaux Romanov × Limousin qui ont également des réserves plus riches en glycogène (Y. VILLETTE et AUROUSSEAU, publication en cours de préparation).

. Utilisation des acides gras à chaînes moyennes pour la croissance

Au cours des premiers jours ou des premières semaines de la vie, les besoins énergétiques de l'Agneau et du Veau sont élevés (thermorégulation, potentialités de protéinogénèse et de lipogénèse) mais les capacités d'ingestion et d'utilisation digestive et métabolique sont souvent limitées, tout du moins chez le Veau recevant des aliments d'allaitement classiques. Il faut donc fournir à ces jeunes animaux des sources d'énergie ne présentant pas de limite d'utilisation digestive et métabolique et qui soient susceptibles de favoriser la protéinogénèse et de limiter la lipogénèse.

A la suite des résultats encourageants obtenus sur l'utilisation des acides gras à chaîne courte ou moyenne par le Rat en croissance, nous avons étudié chez le Veau et l'Agneau la valeur nutritive d'aliments d'allaitement comportant de l'huile de coprah, de l'acide caproïque ou de l'acide caprylique intérestérifiés. Le remplacement d'une partie des acides gras longs du suif par des acides gras à chaîne moyenne a entrainé une amélioration de la vitesse de croissance, de la digestibilité, de l'efficacité alimentaire du régime et de la quantité de protéines fixées, sans modification de l'efficacité d'utilisation de l'énergie métabolisable. Chez le Veau comme chez l'Agneau, l'effet est d'autant plus important que les animaux sont jeunes.

La nature des matières grasses de l'aliment d'allaitement modifie également la composition des lipides corporels des animaux, à court terme (Agneau et Veau) et à long terme (Agneau de boucherie) (AUROUSSEAU, 1973 - 1979 - 1981). Ces phénomènes pourraient résulter de modifications de la composition des lipides de structure des différents tissus. Pour vérifier ces hypothèses, B. AUROUSSEAU étudie l'influence de l'alimentation (comparaison du lait maternel et de différents aliments d'allaitement comportant divers acides gras à chaine moyenne chez le Veau et l'Agneau préruminants ; comparaison du mode d'élevage en bergerie ou à l'herbe), du génotype (veaux frisons ou limousins) et de l'implant d'anabolisants (zéranol et acétate de trenbolone).

. Métabolisme lipidique du Veau préruminant

Les observations précédentes ont servi de base pour entreprendre des études sur le métabolisme lipidique du Veau préruminant, en vue de préciser l'importance des phénomènes de lipogénèse et de lipolyse dans les divers états physiologiques ou nutritionnels.

Les lipides jouent en effet un rôle prépondérant dans le métabolisme énergétique de l'animal en croissance, puisqu'ils représentent de 40 à 75 p.100 de l'énergie fixée dans l'organisme, chez le Veau préruminant. Ils constituent une source d'énergie importante pour les cellules et sont l'objet d'échanges intenses entre tissus et organes (tissus adipeux, foie, intestin, muscles...). Le renouvellement des lipides de l'organisme pourrait contribuer à la fois à la diminution du rendement d'utilisation de l'énergie pour la croissance et aux variations du développement et de la composition des tissus adipeux.

Ce nouveau secteur de recherches a été confié à D. BAUCHART. La première étape des travaux a porté sur la mise au point de méthodes biochimiques appropriées à l'étude fine et quantitative des lipides du plasma : séparation des principales classes de lipides (chromatographie sur couche mince) et détermination de leur contenu en acides gras (chromatographie en phase gazeuse), séparation et purification des différentes classes de lipoprotéines (ultracentrifugation) représentant les formes de transport des lipides entre les organes (intestin, foie) et les tissus périphériques (tissus adipeux et muscles...).

La deuxième étape a porté sur les variations des lipides plasmatiques (concentrations et composition en acides gras) en fonction de facteurs nutritionnels ou physiologiques. Les cinétiques d'évolution postprandiale ont mis en évidence l'importance des remaniements (lipolyse, lipogénèse) des lipides corporels dans les heures qui suivent la prise du repas (surtout entre la 2ème et la 5ème heures) (BAUCHART et AUROUSSEAU, 1980-1981). L'augmentation du niveau d'alimentation entraine une augmentation des concentrations en lipides plasmatiques (principalement les esters de cholestérol et les phospholipides) et une modification des cinétiques postprandiales (concentrations maximales d'esters de cholestérol et de phospholipides 5 heures après le repas).

D'autre part, le remplacement d'une partie des acides gras longs du suif par des acides gras à chaîne moyenne de l'huile de coprah (BAUCHART et AUROUSSEAU, 1980) ou par des acides caproïque et caprylique (AUROUSSEAU et BAUCHART, 1981) modifie considérablement le métabolisme des lipides circulants. Les effets multiples et difficiles à interpréter, ne semblent pas être directement proportionnels à la quantité d'acide gras ingéré, ce qui suggère l'intervention de remaniements intenses des lipides de structure au cours de la journée. Enfin, si les cinétiques des lipides plasmatiques varient peu avec l'âge au cours des premiers mois, les concentrations

sont maximales à l'âge de 3 semaines et se stabilisent à des valeurs minimales (1,5 fois plus faibles) à l'âge de 10 semaines.

Les recherches s'orientent maintenant vers la quantification des échanges d'acides gras (mesures de flux) entre organes et tissus soit au niveau d'organes comme le foie ou au niveau de l'organisme entier, d'abord chez le Veau et l'Agneau préruminants puis chez les jeunes ruminants.

8 - Conclusion

Au cours des dernières années, les thèmes de recherches du Laboratoire ont évolué et se sont diversifiés. Les travaux sur la valeur énergétique des aliments ont été réduits au profit des recherches à caractère physiologique ou métabolique. Les études entreprises ont pour objectif l'analyse des mécanismes biologiques intervenant dans les dépenses énergétiques, l'utilisation de l'énergie, et les modifications de la composition corporelle des animaux. Elles font appel à des méthodes d'investigation spécifiques et lourdes mais applicables à différents types d'animaux.

Ces études sont réalisées pour la plupart en collaboration étroite avec nos Collègues du Département d'Elevage des Ruminants et du Département de Recherches Vétérinaires qui posent un certain nombre de questions d'ordre nutritionnel ou physiologique. Ces collaborations permettent d'aborder les problèmes simultanément sous différents angles avec des méthodes complémentaires, comme on l'a vu dans le cas de la vache laitière en début de lactation. Elles permettent également de choisir pour nos études les individus les plus intéressants ou à des stades physiologiques précis parmi des effectifs importants d'animaux et de tirer le meilleur parti d'un matériel animal difficile à préparer et à entretenir (animaux porteurs de plusieurs fistules, etc...).

L'orientation des recherches vers des aspects plus physiologiques et métaboliques sera accentuée, sans perdre de vue certaines préoccupations pratiques du domaine de la nutrition énergétique. Les études porteront sur les phénomènes de régulation métabolique et hormonale, que ce soit chez le nouveau-né, l'animal en croissance ou la femelle en début de lactation. Elles feront appel de plus en plus à l'utilisation de radioisotopes pour déterminer, *in vivo,* par exemple, le renouvellement des lipides de l'organisme, l'intensité des principales voies ou étapes du métabolisme lipidique ou l'activité métabolique d'organes comme le foie. Le développement de ces recherches dépendra des moyens disponibles (scientifiques, matériels) et des possibilités de collaboration dans ces domaines ''de pointe''.

***BIBLIOGRAPHIE** : La liste des publications pourra être envoyée aux lecteurs du Bulletin qui en feront la demande.*

Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., 1981 (45) 11-14

Appétibilité et emploi des flaveurs dans les aliments des ruminants*

C. DEMARQUILLY

Laboratoire des Aliments

La quantité d'aliments volontairement ingérée est un facteur extrêmement important, très souvent limitant dans le cas des fourrages, de la quantité d'éléments nutritifs que le ruminant peut tirer de sa ration lorsqu'il en dispose à volonté.

Afin de préparer des rations qui correspondent le mieux possible aux besoins, à la capacité d'ingestion et aux goûts des différentes catégories d'animaux il importe donc de connaître la capacité d'ingestion de chaque catégorie d'animaux et l'ingestibilité de chaque aliment, c'est-à-dire la quantité que peuvent en consommer les différentes catégories d'animaux.

Régulation de la quantité d'aliment ingérée

Les animaux mangent pour faire face à leurs dépenses d'entretien et de production et, sans doute aussi, pour éprouver un certain plaisir et atteindre un état psychique de rassasiement. La faim correspond à la sensation de l'état de besoin. Elle déclenche les activités alimentaires c'est-à-dire la recherche, le choix et l'ingestion des aliments. La satiété est une sensation qui correspond en principe à la disparition de l'état de besoin et qui arrête l'ingestion. A ces sensations viennent s'ajouter des aspects plus sensoriels ; l'appétit est le désir de manger. L'appétence est un appétit très vif, de caractère instinctif, suscité par les caractéristiques organoleptiques de l'aliment, qui peuvent être désignées sous le terme d'appétibilité (cf. JARRIGE, 1978). En revanche, l'inappétibilité suscite l'inappétence qui peut aller jusqu'au refus total de l'animal de consommer un aliment donné.

Comme l'ont souligné BALCH et CAMPLING (1962) on a attribué pendant longtemps les différences de quantités ingérées par le ruminant suivant les aliments qui leur étaient offerts à des différences d'appétibilité. En réalité, chez le ruminant (cf. revue de BAYLE et FORBES, 1974) comme chez le monogastrique, c'est le système nerveux central qui régule la quantité d'énergie et par là, d'aliments ingérée et commande les activités alimentaires. L'hypothalamus joue un rôle majeur. Cependant, les particularités du tube digestif du ruminant font que l'ajustement de la consommation d'énergie aux besoins n'est possible qu'avec les rations à la fois très digestibles et ingestibles. En revanche avec les rations riches en fourrages offerts sous forme normale, la quantité ingérée est limitée le plus souvent par l'état de réplétion et de distension du rumen (+ réseau). Les fourrages ne peuvent en effet quitter le rumen qu'après avoir été réduits, sous l'action conjuguée des microorganismes du rumen et de la mastication mérycique, en particules suffisamment fines pour franchir l'orifice du feuillet. La quantité ingérée sera donc d'autant plus élevée que la vidange du rumen sera plus rapide (cf. BALCH et CAMPLING, 1962 ; CAMPLING, 1970). Cette vidange est limitée essentiellement par le temps nécessaire à la digestion des tissus digestibles et la réduction des tissus non digestibles en fines particules, c'est-à-dire par la vitesse de digestion de la masse des parois végétales. Elle dépend donc (DEMARQUILLY, 1965 ; JARRIGE, DEMARQUILLY et DULPHY, 1973 ; JARRIGE, 1978) :

- d'une part de la résistance des parois à la digestion microbienne et à la dégradation mécanique lors de la rumination. Cette résistance augmente avec la teneur en constituants pariétaux des fourrages et leur lignification. L'ingestibilité diminue donc quand la plante vieillit d'où la liaison positive observée entre l'ingestibilité et la digestibilité (BLAXTER *et al.*, 1961). A même digestibilité il existe cependant des différences importantes d'ingestibilité suivant la famille, l'espèce végétale (cf. DEMARQUILLY et JARRIGE, 1973). Les légumineuses sont notamment ingérées en plus grande quantité que les graminées parce qu'elles sont plus riches en constituants solubles et plus pauvres en constituants pariétaux et par là sont dégradées plus rapidement dans le rumen (DEMARQUILLY et CHENOST, 1969).

- d'autre part de l'activité de la flore microbienne du rumen, plus particulièrement de la flore cellulolytique. Celle-ci

*) Version française du texte présenté à Zürich lors du 1er Symposium International sur "Palatability and Flavor use in animal feeds" - Advances in Animal Physiology and Animal Nutrition - Supplements to Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 11, 1980, 78-85

dépend de l'importance et de la composition du contenu cellulaire qui lui apporte les nutriments nécessaires à sa croissance. Elle peut être limitée par une fourniture insuffisante en azote fermentescible et en certains minéraux (S, P, Fe, Mg, Ca...). La complémentation en ces éléments, notamment en azote (urée...) accroît alors la quantité ingérée ainsi d'ailleurs que la digestibilité de la ration.

Il peut cependant y avoir des différences d'ingestibilité relativement importantes entre des fourrages ayant, semble-t-il, le même encombrement et la même digestibilité. En plus de l'encombrement, interviennent aussi d'autres caractéristiques physiques ou chimiques du fourrage qui le rendent plus ou moins appétible ou inappétible. Le ruminant utilise donc aussi ses sens : odorat, goût, toucher, vue qui sont affectés par les caractéristiques chimiques ou physiques des aliments qui lui sont offerts. Il le fait surtout au pâturage où il choisit certaines plantes alors qu'il en délaisse d'autres. Lorsqu'il n'a pas le choix, notamment à l'auge, il traduit surtout son appétence par sa vitesse d'ingestion.

Effets des sens de l'animal

La vue sert surtout à l'animal à s'orienter au pâturage, mais intervient peu dans le choix des espèces pâturées (ARNOLD, 1966 ; FRANK, 1966), qui est apparemment déterminé par le goût, l'odeur et le toucher. ARNOLD (1968) étudie l'effet de ces trois sens en les supprimant un à un ou en combinaison. Il montre ainsi que l'alteration des sens peut modifier le classement des variétés ou des espèces végétales préférées au pâturage mais rarement à un point tel que des espèces régulièrement inappétibles deviennent très appétibles. Le rôle de l'odeur dans la non consommation de l'herbe souillée par les déjections ou poussant à proximité des déjections a aussi été bien démontré (MARTEN et DONKER, 1964 ; 1966). Les études sur le goût entreprises à l'Université de l'Orégon et passées en revue par GOATCHER et CHURCH (1970) et CHURCH (1971) mettent en évidence des différences de goût et de sensibilité entre les différentes espèces animales. Le mouton est généralement moins sensible au goût que la chèvre et le bovin. En outre le mouton montre seulement une préférence pour le sucré, le bovin une préférence pour le sucré et l'acide et la chèvre une préférence pour le sucré, le salé, l'acide et l'amer. Cependant les différences individuelles sont importantes et peuvent être d'origine génétique ou résulter de l'expérience antérieure ou de l'adaptation des animaux (aux ensilages par exemple).

Appétibilité des fourrages et ses principaux facteurs

Il existe de nombreuses revues sur l'appétibilité des fourrages notamment dans les conditions du pâturage (TRIBE, 1950 ; IVINS, 1952 et 1955 ; JONES, 1952 ; GARNER, 1963 ; MARTEN, 1969).

La valeur nutritive est certainement un des principaux facteurs de l'appétibilité des fourrages verts (cf. revue de HEADY, 1964). Les animaux au pâturage choisissent souvent les plantes les plus digestibles ou les parties les plus digestibles des plantes. Aussi, l'herbe ingérée par les animaux est-elle souvent plus riche en azote, minéraux, vitamines et plus pauvre en cellulose brute, en lignine que celle des plantes qui leur sont offertes et qui sont prélevées par la fauche (HARDISON *et al.*, 1954). Joint au fait que les animaux au pâturage délaissent la majorité des plantes toxiques, cela a pu faire accepter par beaucoup, le concept de "sagesse nutritionnelle" des animaux (cf. MARTEN, 1969). Cela explique aussi que l'appétibilité des plantes a pu souvent être reliée positivement à leurs teneurs en azote, minéraux, extrait ethéré, glucides solubles... et négativement à leurs teneurs en cellulose brute, lignine... (cf. revue de HEADY, 1964 et MARTEN, 1969).

Toutes choses égales par ailleurs, il existe cependant des différences d'appétibilité entre espèces, ou entre variétés à l'intérieur d'une même espèce. Le dactyle, la fétuque élevée, le lupin, l'alpiste roseau sont souvent cités comme étant relativement inappétibles. Dans certains cas, cette faible appétibilité a pu être reliée à la teneur en certains constituants identifiés (alcaloïdes, tannins...) ou non (cf. revue de MARTEN, 1969). Inversement, JONES et BARNES (1967) ont pu expliquer l'appétibilité de différentes variétés de ray-grass et de dactyle par leur teneur en acides organiques, notamment en acides citrique et quinique. Mais l'appétibilité peut dépendre aussi de la présence de poils, d'épines ou du port et de la texture de la plante... etc. C'est ainsi que GILLET et JADAS HECART (1965) ont pu relier la flexibilité des feuilles de différents clones de fétuque élevée à leur appétibilité. Enfin, l'appétibilité des fourrages verts pourra être diminuée lors des attaques de rouille ou de mildiou (AHLGREEN, 1941) ou si les fourrages sont riches en débris (parties mortes) ou souillés par de la terre, des fèces... (DEMARQUILLY, 1965).

Les modifications subies par le fourrage lors de la récolte et la conservation, le conditionnement du fourrage vont aussi faire varier son appétibilité. Les moutons recevant à l'auge du fourrage vert à volonté ont une vitesse d'ingestion plus élevée et ingèrent un peu plus de matière sèche si le fourrage est haché que s'il est sous forme longue et surtout lacérée (DULPHY et MICHALET, résultats non publiés).

La déshydratation modifie très peu ou pas la digestibilité et l'ingestibilité des fourrages (DEMARQUILLY, 1970). Elle doit donc peu modifier leur appétibilité relative mais augmente légèrement leur appétibilité absolue puisque les fourrages déshydratés sont ingérés un peu plus rapidement (de 10 à 15 p.100) que les fourrages verts correspondants.

La fenaison diminue la quantité ingérée (DEMARQUILLY et JARRIGE, 1970) mais cette diminution doit résulter surtout de la diminution parallèle de la digestibilité et de la vitesse de digestion du foin et non d'une diminution de l'appétibilité puisque les foins sont ingérés à une vitesse égale et, souvent même, un peu supérieure (DULPHY, résultats non publiés) à celle des fourrages verts correspondants, sauf en cas de mauvaise conservation (foins poussiéreux).

L'ensilage modifie peu ou pas la digestibilité des fourrages mais diminue souvent leur ingestibilité. Cette diminution est d'autant plus importante que la fermentation dans l'ensilage est active et se traduit par des teneurs accrues en ammoniac et en acides gras volatils, notamment en acide acétique (WILKINS *et al.*, 1971 ; DEMARQUILLY, 1973). La diminution est beaucoup plus faible s'il y a hachage fin de

fourrage et addition d'un conservateur efficace lors de la mise en silo (DULPHY et DEMARQUILLY, 1973). Cette ingestibilité plus faible des ensilages n'est pas due à l'état de réplétion du rumen, qui est plus faible qu'avec les fourrages verts (DULPHY *et al.*, 1974). Elle résulte essentiellement d'une diminution de la vitesse d'ingestion qui doit traduire un manque d'appétence, lequel doit être lié à la présence des produits de fermentation donnant une mauvaise odeur et (ou) un mauvais goût à l'ensilage (MICHALET-DOREAU, 1975). Chez le mouton la diminution de la durée des repas peut aussi être déterminée ou renforcée par des perturbations digestives ou métaboliques qui restent à identifier.

Le broyage et l'agglomération accroît de façon considérable l'ingestibilité des foins et des fourrages déshydratés, et cela d'autant plus qu'ils ont été récoltés tardivement. Cette augmentation résulte d'abord d'une diminution du pouvoir d'encombrement des fourrages broyés par suite de la possibilité qu'ont les fourrages broyés de séjourner moins longtemps dans le rumen. Cependant il entre sans doute une part de grande appétibilité dans la consommation importante et rapide des fourrages broyés et agglomérés (Van NIEKSEK *et al.*, 1973) : à même finesse de broyage, ceux-ci sont d'ailleurs ingérés en beaucoup plus grande quantité que les foins simplement broyés (MEYER *et al.*, 1959 ; DEMARQUILLY et JOURNET, 1967).

Les flaveurs et autres additifs

Il existe peu de données publiées sur l'influence des flaveurs ou autres additifs sur l'appétibilité des aliments ou sur la quantité ingérée par les ruminants. Des études déjà anciennes ont montré que l'addition de mélasse ou de sucres permet de faire consommer au pâturage à des bovins ou des ovins des fourrages peu appétibles parce que séchés sur pied (WILLOUGHY et AXELSEN, 1960) ou totalement inappétibles parce que poussant sur ou à proximité des déjections des animaux (MARTEN et DONKER, 1964). En revanche, l'addition de mélasse à des fourrages normalement acceptés par les animaux n'augmente que légèrement et pendant peu de temps les quantités ingérées, par exemple de foins condensés (KARE, 1959 et 1961). De même, l'addition de saccharine n'augmente que légèrement la quantité de céréales, de foin ou d'ensilage ingérée (RUSSOL *et al.*, 1968, cités par BALCH et CAMPING, 1962).

Différents produits ont été essayés dans le but d'améliorer l'appétibilité des concentrés pour jeunes veaux et par là, d'accélérer si possible la transition entre l'alimentation liquide et l'alimentation solide. L'huile d'anis ou l'imitation d'huile d'anis (MILLER *et al.*, 1958) et les graisses végétales ou animales (MILLER *et al.*, 1959) diminuent la quantité ingérée quand les veaux ont le choix entre un aliment concentré (starter) dans lequel a été incorporé ou non ces substances. Deux préparations aromatiques commerciales, Dragoco et Cafnectar n'ont pas modifié la quantité d'aliment solide ingérée par les veaux (SZÜCS *et al.*, 1972). En revanche, dans l'essai de WING (1961) la majorité des veaux ont préféré l'aliment concentré auquel un mélange aromatique commercial était ajouté mais WING conclut que cela n'implique pas que ce concentré aurait été ingéré en plus grande quantité en l'absence de choix.

L'utilisation de Hay Savor (mélange d'acides organiques et substances aromatiques destiné à améliorer la conservation et l'appétibilité des foins rentrés insuffisamment secs) n'a pas augmenté la quantité de foin ingérée par des moutons ou des génisses et l'a même diminuée par comparaison au foin témoin non traité (CANDLISH *et al.*, 1973 ; JOHNSON et Mc CORMICK, 1976). En revanche, CRAPLET et MERLU (1969) montrent que les vaches consomment plus rapidement un mélange de céréales et de minéraux peu appétibles quand il y a addition de 5 kg de Fenugreek par tonne de minéraux.

ARNOLD (1970) montre l'effet sur la quantité ingérée de divers composés odorants ajoutés à des aliments quand il y a ou non possibilité de choix pour l'animal entre aliments additionnés ou non de ces substances (tableau 1).

Les données présentées au tableau 1 montrent que l'odeur peut modifier la quantité ingérée mais l'amplitude est variable et parfois le sens de la modification diffère suivant que l'animal a ou n'a pas le choix.

TABLEAU 1

Effet de l'addition de composés odorants sur la quantité ingérée par le mouton

Composé ajouté	Modification de la quantité ingérée (en %)	
	sans choix	avec choix
Acude butyrique	10.6	19.9
Acétate d'Amyl	8.0	- 13.4
Coumarine	- 9.3	16.9
Glycine	-18.8	- 15.3
Butanol	0	- 12.7
Acide glutamique	0	- 11.3

d'après ARNOLD (1970)

Signification de l'appétibilité et des flaveurs

D'après BALCH et CAMPLING (1962) les sens de l'animal et par là, l'appétibilité des aliments, jouent un rôle beaucoup plus grand sur l'incitation à manger que sur la quantité ingérée. De nombreux essais montrent d'ailleurs qu'il n'y a souvent pas de liaison entre l'appétibilité des fourrages quand il y a choix et la quantité ingérée quand il n'y a pas choix (HARDISON *et al.*, 1954 ; ARNOLD, 1964 ; REID et JUNG, 1965 ; BLASER *et al.*, 1969). En revanche, certaines études mettent en évidence que l'appétibilité peut parfois influencer la quantité ingérée ; c'est ainsi que la comparaison des variétés appétibles et inappétibles de *Phalaris arundinacea* (Alpiste roseau) met en évidence des différences de quantités ingérées allant jusqu'à 36 p.100 en faveur des variétés appétibles (O'DONOVAN *et al.* 1967 ; ROE et MOTTERSHEAD, 1962). De même, ARNOLD (1966) montre que la quantité ingérée peut varier quand le goût, l'odorat ou le toucher des animaux sont supprimés (tableau 2).

Tous ces résultats ne sont pas forcément contradictoires. Parmi les fourrages appétibles, les uns le sont plus que d'autres et seront donc, quand il y a choix, préférés par les animaux.

TABLEAU 2

Quantité de matière organique digestible ingérée (en valeur relative) par le mouton a qui divers sens ont été supprimés (d'après ARNOLD, 1966)

Espèce végétale	Sens supprimés			
	Aucun	Odorat	Goût	Toucher
P. tuberosa (alpiste tubéreux)	100	84	91	78
D. glomerata (dactyle)	100	65	123	118
M. sativa (luzerne)	100	108	80	103
T. repens (trèfle)	100	94	118	91
E. curvula (eragrostide)	100	86	161	78

Cependant, en l'absence de choix, la quantité ingérée sera essentiellement limitée par le pouvoir d'encombrement du fourrage qui n'est pas forcément en liaison avec son appétibilité, d'où l'absence de liaison entre appétibilité et quantité ingérée. Il importera cependant de tenir compte de ces différences d'appétibilité pour l'établissement des prairies à flore mixte si on veut éviter le surpâturage des espèces ou variétés appétibles et le sous pâturage ou la non consommation des espèces les moins appétibles. En revanche, la quantité ingérée de certains fourrages peu ou pas appétibles peut être limitée par leur inappétibilité et non par leur pouvoir d'encombrement, du moins à court terme, C'est ainsi que si ARNOLD (1966) a mis en évidence l'influence de la suppression des sens de l'animal sur les quantités ingérées, il a aussi montré que la suppression des sens ne modifiait pas la productivité animale sur l'année ce qui indique que les sens n'interviennent pas ou très peu sur la régulation à long terme de la quantité de nutriments ingérée. L'addition aux aliments peu ou pas appétibles, de certains additifs ou flaveurs devrait alors permettre une augmentation des quantités ingérées et surtout une adaptation plus rapide des animaux à leur nouveau régime. Les flaveurs peuvent aussi être intéressantes pour augmenter la vitesse d'ingestion de certains concentrés peu appétibles (parce que riches en urée ou en minéraux par exemple) qui doivent être consommés rapidement s'ils sont distribués en salles de traite. La difficulté majeure réside cependant dans l'extrême variabilité de la réponse aux différents stimuli sensoriels des animaux, soit entre espèces, soit entre individus à l'intérieur d'une même espèce animale. Un mélange aromatique permettant en moyenne d'augmenter l'appétibilité d'un aliment chez le bovin aura donc une efficacité très variable d'un bovin à l'autre et ne sera pas obligatoirement efficace chez le mouton ou chez la chèvre chez lesquels il aura peut-être un effet inverse de celui recherché.

Conclusion

En définitive, la quantité d'aliment ingérée par le ruminant est régulée soit par l'état de réplétion du rumen (cas le plus fréquent pour les fourrages) soit par des mécanismes physiologiques (cas des régimes très digestibles et ingestibles, à base de concentrés notamment) lorsque l'état de réplétion du rumen n'est plus le facteur limitant. Certes l'animal utilise aussi ses sens. Il le fait surtout au pâturage quand il a le choix entre de nombreuses variétés ou espèces végétales. Le rôle des sens est beaucoup plus réduit en l'absence de choix, ce qui est fréquent en stabulation. Les sens jouent alors beaucoup plus sur la vitesse d'ingestion que sur la quantité ingérée et quand ils agissent sur cette dernière, c'est plus souvent pour la diminuer que pour l'augmenter. Les différences d'appétibilité entre fourrages ou l'action des flaveurs ne peuvent s'expliquer que par des mécanismes très complexes car souvent multiples et encore mal connus.

Note : les références bibliographiques correspondant à cet article peuvent être demandées à l'auteur.

Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., 1981 (45) 15-21

Effet de la nature de l'aliment concentré sur l'ingestion et les performances des vaches laitières

R. VERITE*., J.P. DULPHY**
avec la collaboration de Mme E. WEGAT-LITRE***
J.P. ANDRIEU**, B. MARQUIS*, A. OLLIER*, P. FAVRE (1)

** Laboratoire de la Production Laitière*
*** Laboratoire des Aliments*
**** Service Mécanographique du Département Elevage des Ruminants*

Pour l'éleveur ou le fabricant, les éléments du choix des aliments concentrés, en dehors de leur coût, sont leurs limites d'emploi (disponibilité des matières premières, conservation, contraintes technologiques, appétibilité, etc...) et leur valeur nutritive.

A cet égard, il est possible que les paramètres habituels de l'appréciation de la valeur nutritive ne traduisent pas la totalité des différences entre aliments concentrés. En effet, des modifications qualitatives au niveau digestif peuvent avoir des répercussions sur l'ingestion ainsi que sur l'efficacité et l'orientation de l'utilisation de l'énergie. Ceci se traduirait alors par des différences de production et de composition du lait et de l'état corporel. Ces effets pourraient être inhérents à l'aliment concentré lui-même et à ses caractéristiques physico-chimiques ou au contraire provenir de phénomènes d'associativité entre fourrages et concentrés et dépendre alors de la nature du fourrage et de la part relative du concentré dans la ration, ou même provenir des deux séries de causes.

La nature de ces aliments concentrés apparaît importante, essentiellement dans les rations à forte proportion de concentré (40 à 60 p.100; REMOND, 1972) pour lesquelles le principal problème concerne le maintien de fermentations normales dans le rumen. Dans ce sens, le respect d'une teneur suffisante en fibres dans la ration est alors un élément important comme l'illustrent en particulier les améliorations du taux butyreux lors de l'emploi de pulpes de betteraves (HIRONAKA, 1971 ; BUTLER, 1973 ; OWEN et MILLER, 1969 ; PARKINS, 1975 ; BATTACHARYA *et al.*, 1971) ou d'avoine (TOMMERVIK et WALDERN, 1969 ; HAWKINS *et al.*, 1963 ; YAMDAGNI, 1967) en comparaison des autres céréales.

Avec des quantités plus modérées, comme c'est habituellement le cas en France, la nature de ce complément ne paraît pas avoir d'effet notable sur la production et la composition du lait mais les études sont plus rares (HODEN *et al.*, 1974 ; BROWN *et al.*, 1966 et 1967 ; CASTLE, 1972 ; RONNING et BOTH, 1972 ; PARKINS *et al.*, 1974 et 1975).

(1) Ingénieur ENSA, Rennes, en stage de fin d'études en 1980.

Ces problèmes ont été évoqués récemment par REMOND (1978). D'autres sont intéressants à considérer. Ils concernent la valeur d'encombrement des différents concentrés qui est peu connue, mais utile pour calculer des rations et les phénomènes de digestibilité associative (VERMOREL in INRA, 1978, p.73) qui varient beaucoup selon la teneur en amidon ou en azote des compléments. Par exemple, les pulpes de betteraves sont plus encombrantes que les céréales (MULLER et BERANGER, 1979), mais elles diminuent moins la digestibilité du fourrage auquel elles sont associées (DULPHY, 1979).

C'est pourquoi, au cours de l'hiver 1979-80, nous avons comparé 3 aliments composés différant par leur concentration énergétique (0,93 à 1,16 UFL/kg MS) et par la nature des matières premières (céréales, pulpes de betterave, son de blé). Cette comparaison a été faite au cours de 3 essais sur des vaches laitières au début de la phase décroissante de leur production et recevant des apports de concentré isoénergétiques et isoazotés (PDI).

Conditions expérimentales

Trois aliments composés (tableau 1), à base essentiellement de céréales (maïs + orge), de pulpes sèches de betterave ou de son de blé ont été formulés pour obtenir une large gamme de concentration énergétique (respectivement 1,16 ; 0,98 et 0,93 UFL/kg de MS) tout en respectant des apports en énergie et en azote équilibrés pour la produciton laitière (115 g de PDI/UFL). Ces aliments, que nous appellerons par la suite "céréales", "pulpe" ou "son", étaient équilibrés en minéraux majeurs et contenaient toujours suffisamment d'azote fermentescible. Leur composition chimique est rapportée au tableau 2.

Ces aliments ont été distribués, en deux repas chaque jour, pendant 10 à 14 semaines à des vaches laitières sur des bases isoénergétiques et isoazotées en complément de fourrages distribués à volonté : ensilage de maïs (essai 1), ensilages directs

de ray-grass anglais, sans conservateur (essai 2) ou avec conservateur (essai 3).

TABLEAU I

Composition des aliments concentrés étudiés

Composition (%)	"Céréales"	"Pulpes"	"Son"
Orge	38	-	-
Maïs	38	-	-
Pulpes de betteraves	-	81	-
Son de blé	-	-	86
Tourteau de soja 50	16	11	6,5
Mélasse	4,5	5	5
Urée	0,5	1,0	-
Carbonate de chaux	2,0	-	2,0
Phosphate bicalcique	0,5	1,5	-
Sel	0,5	0,5	0,5

Dans l'essai 1 (factoriel 3 × 2), la comparaison des 3 concentrés a été faite à 2 niveaux de complémentation (haut et bas) pour apprécier les phénomènes de substitution et donc calculer des valeurs d'encombrement. Dans les essais 2 et 3, un seul niveau d'apport de concentré a été utilisé et la comparaison n'a porté que sur les ''céréales'' et le ''son''. Les vaches (69 au total) étaient alimentées individuellement et complémentées selon des bases pré-déterminées (tableau 3).

L'analyse des résultats d'ingestion et de production a été effectuée séparément, pour l'essai 1 d'une part, et les essais 2 et 3 d'autre part pour lesquels les lots avaient été constitués simultanément. Les résultats de quelques animaux ont dû être éliminés des moyennes dans l'essai 1 par suite de problèmes extérieurs à l'expérimentation.

Simultanément pour chaque essai, la digestibilité a été déterminée pour :

. le fourrage seul à l'aide de moutons,

. les rations entières (fourrages + différents concentrés) à l'aide de moutons dans les essais 2 et 3 et à l'aide de 6 vaches fistulées du rumen et en lactation dans l'essai 1 (carré latin 3 × 3) ; dans ce dernier cas, les caractéristiques des fermentations ruminales ont été déterminées à différents moments au cours de la journée.

Résultats

A) Comparaison entre ''céréales'' et ''son'' (3 essais tabl. 4)

1) Quantités ingérées :

Quel que soit l'essai, les quantités de matière sèche (MS) d'ensilage ingérées n'ont pas différé avec le type de concentré, bien que l'apport de MS de ''son'' ait été nettement plus élevé (+0,85 kg) que celui de ''céréales''. Au total, avec le ''son'', les vaches ont ingéré en moyenne 1,1 kg de MS en plus, ce qui a permis d'obtenir effectivement des rations dont les apports totaux étaient théoriquement iso-énergétiques.

TABLEAU II

Composition chimique et valeur nutritive des aliments

	N° d'essai	Teneur en matière sèche (%)	Composition chimique (% MS)				Valeur nutritive (/kg MS)		
			Matières minérales	Matières azotées	Cellulose Weende	Amidon	UFL	PDIN (g)	PDIE (g)
Ensilage de maïs (1)	1	33,9	5,0	8,9	17,2	23,0	0,83	54	63
Ensilage de maïs (2)	1	30,0	6,4	9,5	20,5		0,80	57	61
Ensilage d'herbe									
. sans conservateur	2	19,9	7,1	17,0	30,1	-	0,84	100	75
. avec conservateur	3	21,9	6,4	18,2	28,6	-	0,89	111	97
Concentré :									
. "céréales"	1 - 2 - 3	86,8	5,6	20,1	3,4	51,5	1,16	141	135
. "pulpes"	1	86,3	8,2	17,8	15,4	3,7	0,98	117	115
. "son"	1 - 2 - 3	86,0	8,5	23,9 (4)	8,6	17,3	0,93	159	121
Tourteau tanné (3)	1	89,8	7,2	45,7	10,0	-	1,07	356	351
Concentré "production" (5)	2 - 3	86,0	-	19,4	9,8	-	1,08	134	133

(1) contient 37 % de grains ; utilisé dans l'essai "digestibilité" et dans l'essai 1 pendant 10 semaines

(2) contient 30 % de grains ; utilisé pendant les 4 dernières semaines de l'essai 1

(3) le tourteau tanné contient 35 % de soja, 35 % d'arachide et 30 % de colza

(4) teneur égale à 18,6 dans les essais 2 et 3 (123 g PDIN et 105 g PDIE)

(5) ce concentré, équilibré pour la production de lait contient 20 % d'orge, 20 % de maïs, 30 % de pulpes de betteraves, 12 % de tourteau de soja 50, 10 % de tourteau de colza toasté, 5 % de mélasse et 3 % de minéraux.

TABLEAU III

Conditions expérimentales

ESSAIS	1	2	3
Lieu	Theix	Orcival	Orcival
Animaux	36 multipares Ho et FF	16 Ho et FF dont 4 primipares	16 Ho et FF dont 4 primipares
Stade de lactation au début de l'essai (mois)	1 - 3	2 - 5	2 - 5
Durée de l'essai (semaines) Préexpérience/Transition/Expérience	3 - 0 - 14	2 - 2 - 10	2 - 2 - 10
Fourrages	Ensilage de maïs (+ 200 g d'urée)	Ensilage de ray-grass anglais sans conservateur	Ensilage de ray-grass anglais avec acide formique (3,2 l/tonne vert)
Seuil de complémentation (kg de lait)	18 * ou 12	10	14
Concentrés comparés : (Céréales C - Pulpes P - Son S)	CPS * CPS	CS	CS
Rythme d'apport de concentrés au-dessus du seuil de complémentation * (kg/kg de lait 4 %)	Céréales : 0,43	Pulpes : 0,51	Son : 0,56
Ration	Fourrages à volonté + concentré + complément minéral vitaminé (200 g)		
Rationnement	En fonction de la production laitière 4 % attendue en supposant une diminution hebdomadaire de 2 % chez les multipares et 1,5 % chez les primipares		
Mesures individuelles	- Quantités ingérées : Pesées des quantités offertes et refusées de chaque aliment 4 ou 5 jours par semaine - Teneur en matière sèche : ensilage (4 - 5 fois par semaine) concentré (1 fois par semaine) - Quantité de lait : pesée à chaque traite - Taux butyreux et taux de protéines : chaque semaine sur 3 ou 4 échantillons des 2 traites journalières - Pesée des vaches : en début et fin d'expérience pesée triple (essai 1) ou double (essais 2 et 3), pesées intermédiaires chaque semaine (essai 1) ou chaque mois (essais 2 et 3)		
Interprétation statistique	Analyse de covariance séparément pour chaque essai en prenant comme référence les valeurs des mêmes paramètres en préexpérience (ingestion et production)		

* Dans l'essai 1 avec le niveau faible de complémentation le premier kg de concentré est constitué par du tourteau tanné de façon à couvrir les besoins azotés

Dans ces conditions, la valeur d'encombrement du ''son'' serait donc égale à environ 80 p.100 de celle des ''céréales''. L'origine de cette différence pourrait se situer au niveau digestif (effet spécifique du son ?). On peut également penser que la régulation de l'appétit avec les régimes et les animaux utilisés est plutôt de type métabolique que physique.

2) Performances :

Les vaches recevant le ''son'' ont produit significativement plus de lait que celles recevant les ''céréales'' dans le cas de l'ensilage de maïs (+ 0,9 kg - Essai 1) et de l'ensilage d'herbe avec conservateur (+ 0,9 kg - Essai 3). A l'inverse, avec l'ensilage d'herbe sans conservateur, les vaches recevant le ''son'' ont produit significativement moins de lait (- 1,6 kg - Essai 2). Les écarts de production se sont établis rapidement en début d'expérience dans les 3 essais et il n'y a pas eu de différences entre les coefficients de persistance mensuelle selon la nature du concentré (coefficient de 90,7 p.100 dans l'essai 1 et de 88 p.100 dans les essais 2 et 3).

Les mêmes tendances existent pour les productions de lait à 4 p.100 et de matières grasses puisque le taux butyreux a peu varié selon le type de concentré. La production de protéines n'a pas été différente selon le concentré car le taux de protéines a eu tendance à varier en sens inverse de la production de lait.

Les variations de poids ont été positives dans tous les cas (100 à 300 g/jour).Elles ont seulement été significativement plus élevées avec le ''son'' par rapport aux ''céréales'' dans l'essai 1.

TABLEAU IV

Ingestion, production et bilans nutritifs des vaches au cours des essais d'alimentation

	Essai 1 Ensilage de maïs						Essai 2 Ensilage de ray-grass sans conservateur		Essai 3 Ensilage de ray-grass avec acide formique	
	Céréales		Pulpes		Son		Céréales	Son	Céréales	Son
Niveau de Complémentation	Bas	Haut	Bas	Haut	Bas	Haut				
Effectif	6	4	4	6	6	5	8	8	8	8
Quantités ingérées (1) (kg MS)										
. Ensilage	15,66	14,46	16,33	13,10	15,84	15,10	11,10	10,90	13,00	13,00
. Concentré expérimental	1,26	4,12	1,38	4,75	1,48	4,98	4,65	5,73	3,24	4,18
. Autres concentrés (2)	0,90	0,06	0,90	0,05	0,90	0,05	0,29	0,61	0,25	0,56
. Urée	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20				
Ration totale	18,02	18,84	18,81	18,10	18,42	20,33	16,04	17,24[b]	16,48[a]	17,72[b]
Apports nutritifs										
. Energie (3) UFL	15,11	16,38	15,58	15,19	15,21	16,77	14,61	14,61	15,32	15,48
. Azote PDIN (g)	1689	1726	1710	1623	1755	1968	1805	1876	1933	2032
PDIE (g)	1457	1474	1487	1376	1477	1556	1499	1500	1732	1775
. Taux azoté de la ration (MAT % MS)	14,7	14,5	14,5	14,6	15,1	15,5	17,7	17,6	18,4	18,3
. Taux de cellulose Weende de la ration (% MS)	16,9	15,0	17,3	17,2	16,7	15,6	21,9	22,1	23,4	23,2
Production et composition du lait (1)										
. Lait (kg)	22,2[ab]	22,2	22,3[a]	21,7	22,7[b]	23,4	23,8[a]	21,9[b]	22,3[a]	24,1[b]
. Lait 4 % (kg)	22,4[a]	23,0	22,8[a]	22,4	23,1[b]	24,1	22,4[a]	20,8[b]	21,6	22,5
. Matières grasses (g)	904[ab]	945	928[a]	912	937[b]	984	850	772	852	866
. Matières protéiques (g)	661[ab]	656	669[a]	636	673[b]	704	692	654	691	678
. Taux butyreux (g ‰)	41,0	42,4	41,6	42,3	42,5	42,6	36,0	35,7	37,5	37,3
. Taux protéique (g ‰)	30,1	29,3	29,8	29,6	29,7	30,7	29,1	30,0	30,8[a]	29,0[b]
. Gain de poids vif (g/j) (4)	140[a]	112	196[ab]	228	180[b]	386	233	193	147	92
. Poids vif moyen (kg)	566	568	537	603	582	572	587	601	595	589
. Valorisation énergétique effective UFL (5)	14,92	15,09	15,10	15,44	15,44	16,54	15,37	14,63	14,77	14,93

(1) Valeurs ajustées par analyse de covariance. Dans un même essai, les traitements indicés par au moins une lettre différentes sont significativement différents ($P < 0,05$). Les niveaux haut et bas ne sont pas comparés.

(2) Tourteau tanné dans l'essai 1 ; concentré production dans les essais 2 et 3

(3) Somme des apports des différents aliments corrigée pour l'effet du niveau d'alimentation et des phénomènes d'associativité (VERMOREL, 1978)

(4) Entre le début et la fin de la période expérimentale ; corrigé pour tenir compte des variations d'ingestion et donc du contenu digestif

(5) Correspondant à la somme des besoins d'entretien, de production de lait et de gain de poids.

B) Effet des ''pulpes'' (essai 1, tabl. 4)

L'effet des ''pulpes'' sur l'ingestion de l'ensilage de maîs semble plus complexe. Lorsque le niveau d'apport des ''pulpes'' a été faible (1,38 kg de MS de ''pulpes'' et 0,8 kg de MS de tourteaux tannés), l'ingestion d'ensilage de maîs a été identique, voire supérieure, à celle obtenue avec les deux autres concentrés (15,36 contre 14,80 kg de MS). En revanche, avec le niveau élevé d'apport de ''pulpes'' (4,75 kg de MS de ''pulpes'' et 0,05 kg de MS de tourteaux tannés), l'ingestion d'ensilage de maîs a été notablement plus faible qu'avec les 2 autres concentrés (12,32 contre 13,88 kg de MS).

Bien que les apports calculés d'énergie (UFL) soient inférieurs avec le régime ''pulpes'', la production laitière des vaches a été identique à celle du régime ''céréales'' aussi bien pour le niveau haut que le niveau bas d'apport de complément.

C) Effet du niveau d'apport de concentré (essai 1 - tabl. 4) :

Globalement, l'augmentation de l'apport de concentré (équivalente à 2,4 UFL) s'est accompagnée d'une baisse significative de 1,6 kg de MS ($P < 0,05$) de l'ingestion d'ensilage de maîs, soit théoriquement d'une baisse de 1,3 UFL provenant du fourrage, mais cet effet a été très variable selon le concentré.

Avec l'accroissement de la complémentation, la diminution d'ingestion de la ration de base a été faible avec le ''son'' (-0,7 kg MS), modérée avec les ''céréales'' (-1,1 kg MS) et très importante avec les ''pulpes'' (-3,0 kg MS). Dans ces conditions les taux de substitution (kg de MS de fourrage en moins par kg de MS de concentré en plus) ont été voisins de 0,3-0,4 avec le ''son'', de 0,6-0,7 avec les céréales et de 1 avec les pulpes.

L'ingestion de la ration totale a augmenté de façon importante avec le niveau d'apport de concentré pour le ''son'' (+ 1,9 kg de MS) et a été beaucoup plus stable pour les ''céréales'' et les ''pulpes''. De ce fait, l'apport supplémentaire théorique de 2,4 UFL de concentré n'a pas modifié les apports énergétiques de la ration totale avec les ''pulpes'' et l'a accru seulement de 1,5 et + 1,6 UFL avec les ''céréales'' et le ''son''.

Quelle que soit la nature du concentré, la production et la composition du lait n'ont pas été modifiées significativement par le supplément de concentré. Dans ces conditions le rendement du supplément de concentré apporté a donc été nul.

D) Etude de la digestibilité et des fermentations dans le rumen (tabl. 5) :

Avec l'ensilage de maîs (essai 1), la digestibilité de la matière organique de la ration entière mesurée sur vaches a été identique pour les concentrés ''céréales'' et ''son'' et plus élevée pour le concentré ''pulpes''. En fait, par rapport aux valeurs attendues (obtenues à partir de la mesure sur fourrage seul et des valeurs des Tables pour les concentrés), la digestibilité mesurée des rations a été inférieures de 3,5 points dans le cas des ''céréales'' et de 1,1 point dans le cas des ''pulpes'', alors qu'elle était identique avec le ''son''. Cette différence entre ''son'' et ''céréales'' se retrouve, mais à un degré moindre, avec les ensilages d'herbe.

TABLEAU V

Digestibilité de la matière organique des fourrages et des rations

Résultats obtenus sur moutons, sauf *

ESSAIS	1	2	3
ENSILAGES	maîs	herbe sans conservateur	herbe avec conservateur
Digestibilité de la matière organique (p.100)			
. du fourrage seul	67,7	73,4	73,9
. de la ration			
- "céréales"	68,1 *	75,9	75,8
- "pulpes"	70,1 *	-	-
- "son"	68,5 *	74,2	73,4
Ecart de digestibilité (points)			
(mesurée - attendue)(1)			
. "céréales"	- 3,5	- 1,0	- 0,9
. "pulpes"	- 1,1	-	-
. "son"	0	+ 1,1	+ 0,1

* *déterminé avec des vaches laitières*

(1) *calculée comme la moyenne pondérée des digestibilités des aliments composant la ration.*

Par ailleurs la digestibilité de l'amidon pour les rations à base d'ensilage de maîs a été respectivement de 83,2, 80,2 et 81,2 avec les concentrés ''céréales'', ''pulpes'' et ''son''. Si on suppose que la digestibilité de l'amidon de l'ensilage de maîs a toujours été de 80 p.100, celle de l'amidon des concentrés ''céréales'' et ''son'' serait de 90,6 et 89,6 p.100.

Entre régimes, les phénomènes fermentaires du rumen n'ont que très peu varié. La teneur en ammoniac (tout comme celle en urée du sang et du lait) a été légèrement plus élevée avec le ''son'', sans doute en liaison avec la teneur en matières azotées plus élevée de ce concentré. Par ailleurs, les proportions relatives des acides gras volatils du rumen n'ont pas différé entre les 3 concentrés, alors que nos résultats antérieurs (non publiés) montraient une augmentaiton relative de l'acide acétique avec les ''pulpes'' comparées aux ''céréales''.

E) Utilisation de l'énergie (tabl. 4)

La valeur énergétique des rations journalières a été calculée de 2 manières différentes :

- la valeur théorique correspondant à la somme des apports des différents aliments, avec comme valeur celles du tableau 2, et en tenant compte de la diminution due aux phénomènes d'associativité et à l'augmentation du niveau d'alimentation (VERMOREL, in INRA, 1978) ;

- la valeur effective calculée à partir des performances réelles obtenues gain de poids vif compris.

La valeur effective a été très faiblement inférieure à la valeur théorique (0,17 UFL) aussi bien pour les rations ''céréales'' et ''son'' (moyenne des 3 essais) que pour la ration ''pulpes''. On voit donc que la valeur relative des 3 aliments est correctement estimée en moyenne dans le système UFL.

Toutefois, cette moyenne recouvre des situations variées. Pour la ration ''céréales'', la valeur effective a été nettement inférieure à la valeur théorique avec les fourrages ingestibles (-0,66 UFL ; Essais 1 et 3) mais supérieure avec le fourrage peu ingestible (+0,76 UFL ; Essai 2). Pour la ration ''son'', elle a été inférieure dans l'essai 3 (—0,45 UFL) mais identique dans les 2 autres cas.

Dans l'essai 1, le calcul direct à partir de la digestibilité de la ration totale mesurée sur vaches a conduit à des chiffres très proches de la valeur effective.

Discussion et conclusion

Les trois essais que nous avons conduits montrent de façon très claire que les différences de valeur d'encombrement entre aliments concentrés peuvent être notables, le ''son'' étant moins encombrant que les céréales, qui sont elles-mêmes moins encombrantes que les pulpes déshydratées de betterave.

Lors de la mise en place du système des UEB (JARRIGE, 1979) il n'y a pas été tenu compte des différences de valeur d'encombrement entre aliments concentrés. En effet, les résultats sur ce point étaient trop peu nombreux. On savait cependant que les pulpes étaient plus encombrantes que les céréales (MULLER et BERANGER, 1979). Heureusement, l'écart entre ''son'' et ''céréales'' est négligeable si on rapporte la valeur d'encombrement à la valeur énergétique ; en conséquence, le tableau 4 de l'article de JARRIGE (1979) pour prévoir les quantités ingérées de fourrage est utilisable pour les composés à base de céréales et de son. Par contre, si on distribue des quantités élevées de pulpes les valeurs de ce tableau sont peut-être un peu trop fortes et on pourrait les diminuer approximativement de 0,3 kg de MS par kg de MS de pulpe apportée en attendant une confirmation de ces résultats.

Il est admis que les effets négatifs sur la digestibilité et la valeur énergétique de l'interaction entre fourrage et concentré sont d'autant plus forts qu'il y a plus d'amidon dans la ration (VERMOREL, in INRA 1978).

C'est en effet avec l'association ensilage de maïs - ''céréales'' que la digestibilité et la valeur UFL effective ont été les plus clairement inférieures aux valeurs attendues (fig. 1). A l'opposé un apport minimum d'amidon peut être intéressant puisqu'une tendance à un effet positif a été notée dans le cas de l'association des ''céréales'' avec l'ensilage d'herbe de moins bonne qualité. Il est toutefois curieux de noter que la digestibilité de l'amidon a été identique pour les ''céréales'' et le ''son''.

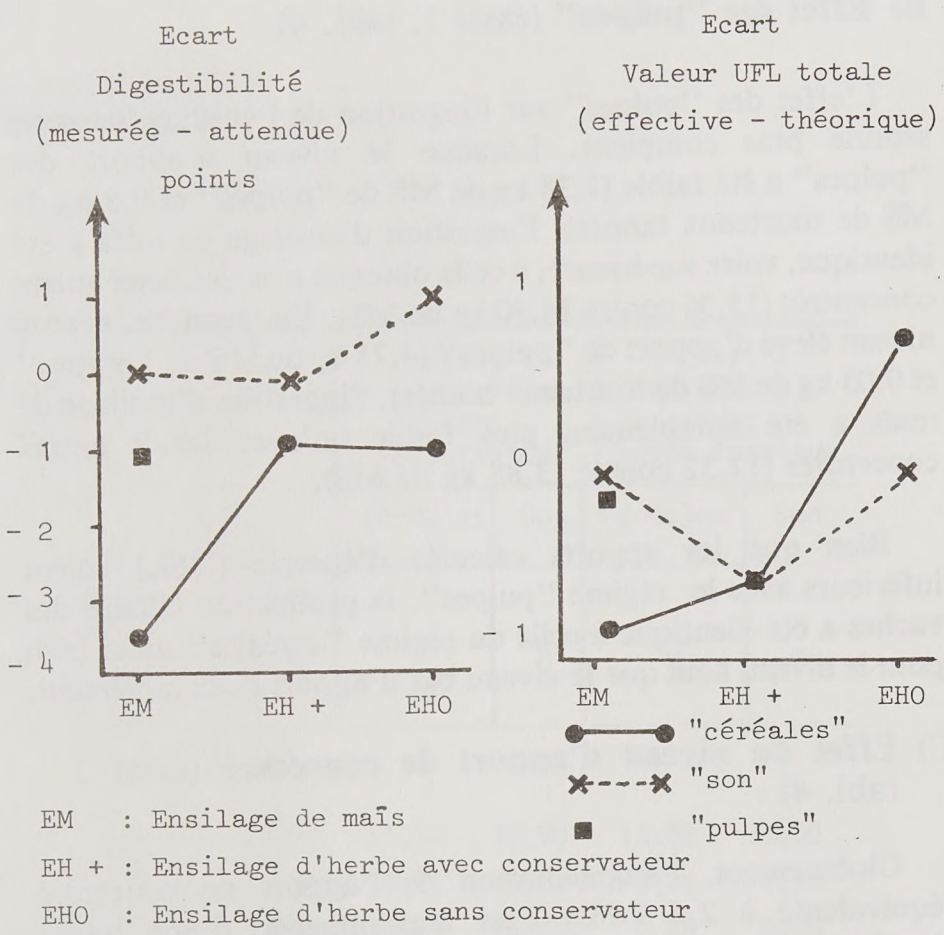


FIG. 1 : *Effets des différentes associations sur la digestibilité et la valeur UFL effective des rations*

Bien que les tendances enregistrées dans nos essais soient claires, en particulier l'absence d'effet associatif négatif avec le ''son'', d'autres essais devront cependant être effectués avant de proposer un système de correction des apports énergétiques tenant compte de la nature du concentré en plus du niveau de concentré (INRA, 1978).

De plus, il ne faut pas oublier que ces effets sur la valeur énergétique ne sont pas les seuls élements à prendre en compte en pratique pour prévoir les effets sur la production laitière. Il convient aussi de considérer avec attention les effets sur l'ingestion, en particulier dans le cas des pulpes.

Dans ces essais, la nature de l'aliment concentré n'a pas eu d'effet sur la composition du lait, en particulier sur le taux butyreux. Ceci n'est pas très étonnant si on considère que la part des concentrés dans les rations n'a jamais été excessive (20 à 35 p.100).

Enfin, il convient de remarquer qu'avec cet ensilage de maïs (34 p.100 de MS) distribué à volonté, l'augmentation de l'apport de concentré ne s'est pas traduite par une augmentation de la production laitière et que l'énergie nette du fourrage a permis la couverture des besoins d'entretien et la production de 18 kg de lait environ, ce qui est conforme à nos résultats antérieurs (VERITE et JOURNET, 1973).

Références bibliographiques

BHATTACHARYA A.N., LUBBADAH W.F., 1971. Feeding high levels of beet pulp in high concentrate dairy rations. *J. Dairy Sci.*, **54**, 95-99.

BHATTACHARYA A.N., SLEIMAN F.T., 1971. Beet pulp as a grain replacement for dairy cows and sheep. *J. Dairy Sci.*, **54**, **89-94**.

BROWN W.M., STULL J.W., DAFAALA F.O., RILEY P. W., 1966 Comparison of milo and barley for lactating cows. *J. Dairy Sci.*, **49**, 386-391.

BROWN W.H., JAREED A.O., STULL J.W., 1967. Comparison of milo and barley for lactating cows. Effects of roughage intake and season. *J. Dairy Sci.*, **50**, 700-704.

BUTLER T.M., 1973. A comparison between concentrates containing barley-soyabean meal and dried molassed beet - pulp - groundnut meal for milk production. *Irish J. Agric. Res.*, **12**, 329-331.

CASTLE M.E., 1972. A comparative study of the feeding value of dried sugar-beet pulp for milk production. *J. Agric. Sci. Camb.*, **78**, 371-377.

DULPHY J.P., 1979. Valeur alimentaire des pailles traitées ou non. *Bull. Techn. Inf.*, n°341-342, p. 319-336.

HAWKINS George E., PAAR GARY E., LITTLE Joe A., 1963. Physiological responses of lactating dairy cattle to pelleted corn and oats. *J. Dairy Sci.*, **46**, 1073-1080.

HIRONAKA R., 1971. Dried molasses beet pulp in rations of dairy cattle. *Can J. Anim. Sci.*, **51**, 451-455.

HODEN A., REMOND B., JOURNET M., 1974. Utilisation comparée de 3 céréales-grain (maîs-blé-orge) par les vaches laitières en début de lactation. *Bull. Techn. CRZV Theix*, INRA, **16**, 17-20

INRA, 1978. *L'Alimentation des Ruminants*, Ed. INRA Publications, Route de St Cyr - 78000 Versailles

JARRIGE R., 1979. Le système des unités d'encombrement pour les bovins. *Bull. Techn. CRZV Theix*, INRA, **38**, p. 57-79.

MULLER A., BERANGER C., 1979. Utilisation des pulpes de betteraves déshydratées en complément d'ensilage d'herbe par les bovins en croissance et à l'engrais. *Bull. Techn. CRZV Theix*, INRA, **35**, 53-58.

OWEN J.B., MILLER E.L., 1969. Complete diets given ad libitum to dairy cows. The effect of the level of inclusion of milled straw. *J. Agric. Sci., Camb.*, **72**, 351-357.

PARKINS J.J., HEMINGWAY R.G., RITCHIE N.J., 1974. Molassed sugar-beet pulp nuts supplemented with urea and phosphate used as a milk production concentrate for dairy cows. *J. Dairy Res.*, **41**, 289-297.

PARKINS J.J., FISHWICK G., RITCHIE N.S., HEMINGWAY R.G., 1975. Urea and phosphate supplemented molasse sugar-beet pulp nuts used as a major component of milk production concentrates for dairy cows. *J. Dairy Res.*, **42**, 363-369.

REMOND B., 1972. Utilisation des régimes riches en aliments concentrés par les vaches laitières, p. 139-155. In : *L'Utilisation des céréales (grains) dans l'alimentation des ruminants.* Ed. SEI, CNRA Versailles.

REMOND B., 1978. Influence de l'alimentation et de la saison sur la composition du lait : in *La Vache Laitière*, p. 231-244. Ed. INRA Publications, Route de St-Cyr, 78000 Versailles

RONNING Magnar, BATH D.L., 1962. Relative milk production value of barley, dried beet pulp, molasses dried beet pulp and concentrated steffen filtrate dried beet pulp. *J. Dairy Sci.*, **45**, 854-857.

TOMMERVIK R.S., WALDERN D.E., 1969. Comparative feeding value of wheat, cron, barley, milo, oats, and a mixed concentrate ration for lactating cows. *J. Dairy Sci.*, **52**, 68-73.

VERITE R., JOURNET M., 1973. Complémentation des rations à base d'ensilage de maîs en début de lactation. *Bull. Techn. CRZV Theix*, INRA, **11**, 41-46.

YAMDAGNI S., 1967. Effects of pelleting concentrate mixtures of varying starch content of molk yield and composition. *J. Dairy Sci.*, **50**, 1606-1611.

Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., 1981 (45) 23-25

La stimulation électrique des carcasses*

C. VALIN

Station de Recherches sur la Viande

Pour qu'une viande soit jugée "bonne" par le consommateur, il faut qu'elle soit à la fois tendre, savoureuse et succulente. Chacun sait que les animaux sont plus ou moins aptes à fournir une viande de bonne qualité et que, selon le morceau choisi, la qualité ne sera pas la même. Mais la qualité d'une viande dépend aussi très largement des transformations qui affectent les muscles des animaux après l'abattage et au cours de la conservation. Dans un premier temps, les muscles perdent leur propriété d'élasticité et se durcissent : c'est l'installation de la rigidité cadavérique (ou *rigor mortis*). Dans un second temps, au cours de la phase dite de maturation, la viande s'attendrit : les fibres qui composent les muscles subissent des transformations biochimiques entraînant une désorganisation de leur structure.

La température ambiante joue un rôle très important dans le déroulement des processus qui transforment le muscle en viande. Traditionnellement, les carcasses étaient réfrigérées très lentement et les pièces de viande subissaient un stockage à des température qui permettaient la maturation de la viande en l'espace de quelques jours. Mais au cours de la dernière décennie, les législateurs ont imposé, pour des raisons d'hygiène, des normes de réfrigération rapide. La brutalité de ces méthodes entraîne une plus grande contraction des muscles au moment où la rigidité cadavérique s'installe. Or, plus les muscles sont contractés à cet instant, moins les mécanismes de transformation sont efficaces pour attendrir la viande. Les conséquences de ces contractions au froid ne sont pas récupérées par la maturation, même prolongée, de la viande et l'on a pu constater une dégradation assez générale de la qualité des viandes proposées au consommateur.

Pouvait-on y remédier ? Récemment la station de recherches sur la viande à l'Institut National de la Recherche Agronomique (Theix), mais également les Instituts de recherches sur la viande néo-zélandais, anglais et suédois, ainsi que des équipes américaines ont développé les applications d'une technique connue depuis 1951 (1) qui consiste à stimuler électriquement les carcasses après l'abattage. Nous allons voir comment et pourquoi cette technique peut contribuer à rendre la viande plus tendre. Mais auparavant il n'est pas inutile de rappeler les processus biochimiques qui se déroulent dans le muscle après l'abattage.

Transformation biochimique et tendreté

L'installation de la rigidité cadavérique correspond, sur un plan biochimique, à la disparition des molécules d'adénosine triphosphate (ATP). Rappelons que chez l'animal vivant, ces molécules d'ATP fournissent au muscle l'énergie nécessaire à sa contraction ; pendant les phases de repos, elles contribuent à rendre aux muscles leur élasticité naturelle, leur permettant en quelques sorte de se relaxer.

Après la mort de l'animal, la disparition des molécules d'ATP se déroule en deux temps. (2). Dans les instants qui suivent l'abattage, l'ATP disparaît lentement, sa concentration dans le muscle reste pratiquement constante pendant un temps plus ou moins long selon l'état d'agitation des animaux au moment de l'abattage, avant de décroître. Ce phénomène s'explique par l'existence d'un mécanisme *post mortem* de resynthèse de l'ATP, dont le fonctionnement repose sur la mobilisation de composés de réserve (phosphocréatine et glycogène). Progressivement, ce processus de recharge s'arrête par épuisement des composés de réserves ; les molécules d'ATP disparaissent alors complètement et le muscle perd son élasticité.

La dégradation -ou plus précisément l'hydrolyse- de l'ATP s'accompagne d'une chute du pH musculaire, ce qui provoque l'acidification du muscle que l'on observe à ces instants. Cette acidification est due aux protons libérés lors de la réaction d'hydrolyse de l'ATP, et non à l'accumulation de lactate (produit de dégradation du glycogène) comme on le croyait

* Texte publié dans la revue "LA RECHERCHE", Mai 1981 (n° 122, p. 612-613) sous le titre "Pour attendrir la viande : la stimulation électrique".

encore récemment (3). Si bien que l'amplitude de la chute du pH dans le muscle *post mortem* dépend essentiellement de la capacité des réserves énergétiques musculaires à alimenter, *post mortem*, le muscle en ATP ; et la vitesse de chute du pH dépend directement de la vitesse d'hydrolyse de l'ATP.

Plusieurs enzymes sont susceptibles d'hydrolyser l'ATP dans le muscle *post mortem*. Il apparaît toutefois que l'essentiel de cette activité est imputable, au moins dans la phase lente de disparition de l'ATP, à l'activité ATPasique de la myosine qui fonctionne normalement *in vivo* dans le muscle au repos, en absence de calcium (phase de ''relaxation''). Toutefois, dans certaines conditions, l'activité ATPasique de la myosine qui intervient normalement lors d'une contraction musculaire peut être mise en oeuvre *post mortem*. Il en résulte alors une accélération notable de la vitesse d'hydrolyse de l.ATP (4) et une contraction des muscles. Si cette activité ATPasique fonctionne jusqu'à épuisement des réserves en ATP, le muscle entre en rigidité cadavérique dans un état contracté avec pour conséquence une altération plus ou moins irréversible de la tendreté, selon le degré de contraction atteint (5).

Le froid peut être responsable du déclenchement de cette activité ATPasique, (4,6), ce qui explique le phénomène de ''durcissement par le froid'' observé dès 1963 par les Néo-zélandais Locker et Hagyard (7). Pratiquement, le déclenchement de ce phénomène s'observe quand la température des muscles est abaissée en dessous de 10°C, avant que leur pH n'ait atteint la valeur de 6,0 (en dessous de cette valeur l'activité ATPasique contractile est pratiquement inhibée) (8). La réglementation qui oblige à abaisser la température à coeur des carcasses des gros bovins en dessous de + 7°C en 24 heures crée les conditions du déclenchement de la contraction au froid.

Prévenir les effets nocifs du froid

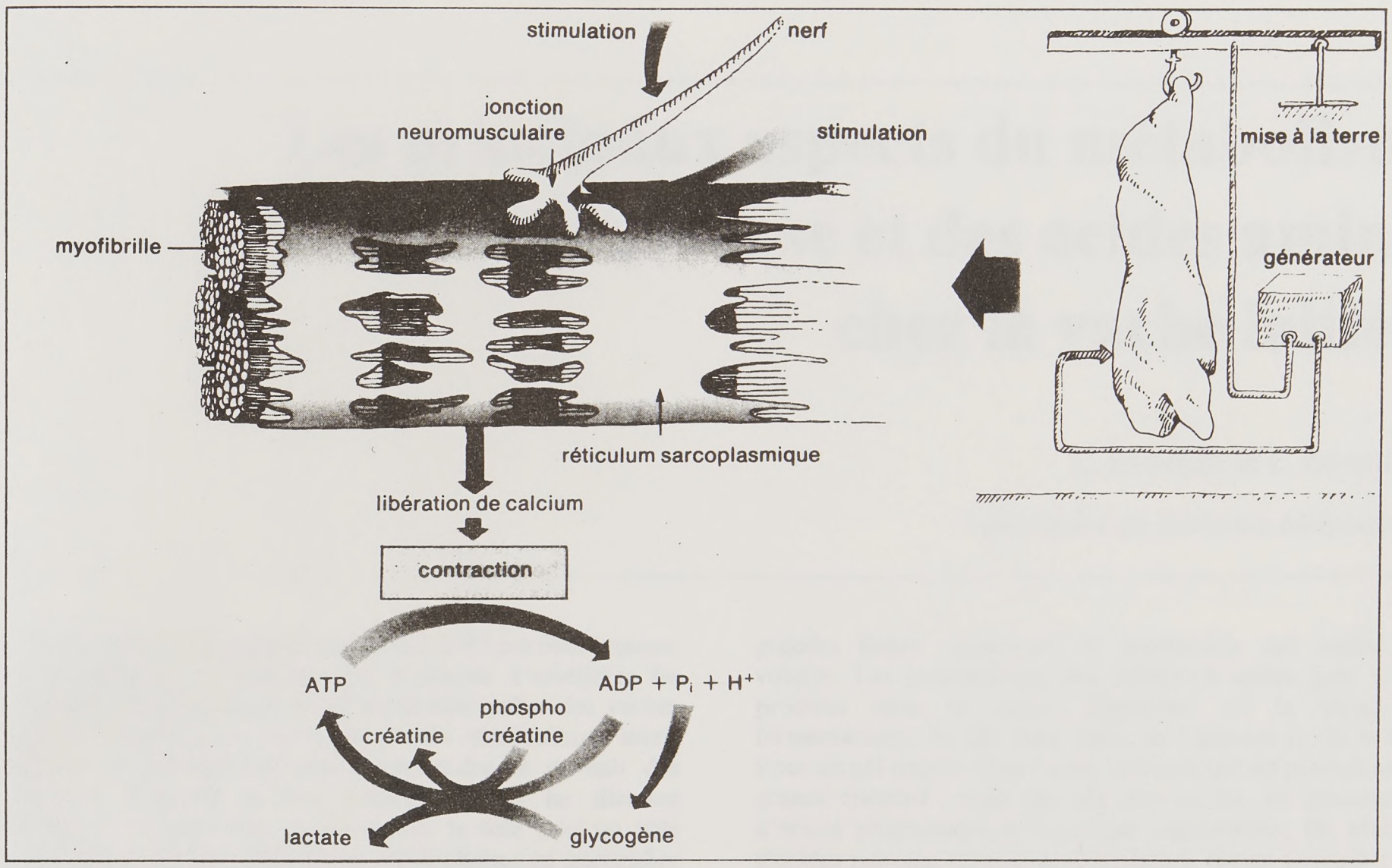
Le problème est donc d'arriver à inhiber la contraction au froid pour que le processus de maturation de la viande se déroule dans des conditions satisfaisantes et ce, en dépit des méthodes actuelles de réfrigération.Paradoxalement, on peut empêcher la contraction au froid... en provoquant une contraction réversible de la musculature à ''chaud'', immédiatement après l'abattage. On sait en effet que la stimulation électrique provoque des contractions de la musculature. Sur les carcasses d'animaux, elle déclenche l'activité enzymatique de type contractile, accélère la vitesse de disparition de l'ATP et la chute de pH. En appliquant immédiatement après l'abattage une stimulation électrique relativement brève (90 à 120 secondes), on provoque une chute de pH d'environ 0,6 unité qui correspond à la consommation de 50 % du stock initial d'ATP, comme nous avons pu le vérifier dans notre laboratoire. (9). Dans ces conditions, quand cesse la stimulation, il reste suffisamment d'ATP dans le muscle pour qu'il se relaxe et le pH voisin de 6,0 est assez bas pour que disparaisse le risque d'une contraction quand la température du muscle sera abaissée en dessous de + 10°C (voir figure).

Plus le temps entre l'abattage et le début de la stimulation électrique augmente, plus l'obtention d'une contraction exige l'utilisation de tensions élevées. Pratiquement, dans le cas des gros bovins, il est nécessaire d'appliquer aux carcasses un courant dont la fréquence des impulsions est voisine de 15 Hz et la tension en crête supérieure à 600 volts. Cela permet d'obtenir, pendant le temps que dure la stimulation, un abaissement du pH au voisinage de 6, au moins pour les muscles les mieux stimulés. La réponse n'est en effet pas homogène pour l'ensemble de la musculature. Cette variabilité est due pour une part à l'hétérogénéité de répartition du champ électrique à l'intérieur de la carcasse et d'autre part aux différences de propriétés contractiles et métaboliques existant entre muscles (10).

Malgré ces limites, les effets obtenus permettent de prévenir efficacement le risque de la contraction au froid. En outre, l'accélération des processus de dégradation de l'ATP entraîne un démarrage plus précoce de la maturation, alors que la température des muscles est encore voisine de 30°C. Par comparaison, la maturation dans les carcasses non stimulées ne commence qu'environ 24 heures *post mortem,* quand la température des muscles est voisine de 7°C. Comme la vitesse de maturation est très dépendante de la température, la stimulation électrique permet ainsi indirectement un raccourcissement important du temps de stockage nécessaire à l'obtention d'une tendreté suffisante.

Un fait technologique nouveau

Le développement d'une technique comme la stimulation électrique introduit un fait technologique nouveau, en permettant le désossage des carcasses dans l'heure qui suit l'abattage. Jusqu'à présent, ce travail à chaud des viandes était très difficile sinon impossible car il amplifiait les risques d'altération de la tendreté par le froid et ne pouvait conduire, dans le cadre de la réglementation en vigueur, qu'à l'obtention d'une viande très dure. Ce risque maîtrisé, les avantages technologiques liés au désossage à chaud sont multiples : économie d'énergie au niveau de la réfrigération, limitation des pertes de masse (par évaporation) car les viandes désossées à chaud sont immédiatement conditionnées, meilleure valorisation des sous-produits (os, etc.) et surtout optimisation possible des traitements de conservation-maturation en fonction des propriétés particulières des différents muscles. La stimulation électrique, en permettant ces pratiques sans risque pour le consommateur, ouvre aux industriels la possibilité de faire évoluer dans une large mesure toute l'organisation du circuit économique de la viande. A ce jour, tout ce circuit repose sur la ''carcasse'' dont la charpente osseuse est le support naturel de la viande pour sa réfrigération, sa maturation et son transport, et dont l'appréciation de la valeur sert à définir le prix de la viande au détail, bien que la relation qualité des carcasses/qualité de la viande ne soit pas toujours très étroite. Pour peu que se développent des capteurs permettant de mesurer objectivement sur les muscles isolés, d'une façon rapide et non destructive, les qualités de la viande — couleur, tendreté, saveur — telles qu'elles seront perçues par le consommateur et c'est tout le système de définition du prix de cette viande dont on peut imaginer la remise en cause.



L'application d'un champ électrique sur la musculature provoque une contraction des muscles. L'impulsion électrique stimule les voies nerveuses ou bien directement la plaque motrice (jonction neuromusculaire). A ce niveau, l'impulsion est transmise à la cellule musculaire et s'étend rapidement à l'ensemble des fibres musculaires. Elle entraîne une libératon de calcium, normalement stocké dans le muscle au repos au niveau de ce que l'on appelle le réticulum sarcoplasmique. La décharge de calcium stimule l'hydrolyse de l'adénosine triphosphate (ATP), source d'énergie pour la contraction, et entraîne la contraction musculaire. L'ATP provient de la dégradation de composés musculaires tels que le glycogène (qui fournit du lactate) ou la phosphocréatine (qui libère de la créatine). L'hydrolyse de l'ATP s'accompagne d'une libération de protons (H^+), responsables de la chute du pH musculaire observée à ces instants. En appliquant immédiatement après l'abattage une stimulation électrique relativement brève, on provoque une chute de pH d'environ 0,6 unité, ce qui correspond à la consommation de 50 % du stock initial d'ATP. Dans ces conditions, à l'arrêt de la stimulation, l'ATP restant sera utilisé par le muscle pour lui permettre de se relaxer. De plus, le pH atteint sera suffisamment bas (voisin de 6,0) pour empêcher les risques d'une contraction quand le muscle sera stocké au froid.

Références bibliographiques

(1) HARSHAM A., DEATHERAGE F.E., US Patent 2544681 1951.

(2) BATESMITH E.C., BENDALL J.R., *J. Physiol,* **110**, 47, 1949.

(3) BENDALL J.R., *Meat Science,* 3, 144, 1980.

(4) BENDALL J.R. *in The structure and function of muscle 2nd* Edition, Ed. by G.H. Bourne, Academic Press, 1973.

(5) MARSH B.B., CARSE W.A., *J. Food. Technol.,* 9, 129, 1974.

(6) TARRANT P.V., MOTHERSILL C., *J. Sci. Food Agric.,* 28, 739, 1977.

(7) LOCKER R.H., HAGYARD, C.J. *J. Sci. Food. Agric.,* 14, 787, 1963

(8) LACOURT A., *Rev. Gen. Froid,* 3, 263, 1973.

(9) HOULIER B., Thèse de docteur ingénieur, 1981.

(10) HOULIER B., VALIN C., MONIN G., SALE P., 26 th Eur. Meet. *Meat Res. Workers,* Vol. II, 81, 1980.

(11) VALIN C., TOURAILLE C., OUALI A., *Science des Aliments, sous presse, 1981.*

Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1981 (45) 27-35

Les principaux aspects du métabolisme du glucose et des acides aminés chez la vache laitière

C. REMESY et C. DEMIGNE

Laboratoire des Maladies Métaboliques

La physiologie digestive du ruminant a été particulièrement bien explorée et sa vulgarisation a permis d'améliorer les techniques d'alimentation et en particulier celles des vaches laitières. Toutefois, la connaissance du métabolisme intermédiaire est primordiale pour comprendre le devenir des nutriments absorbés et leur utilisation dans les diverses synthèses de l'organisme. A cet égard, le foie joue un rôle prépondérant dans les régulations métaboliques en particulier puisqu'il assure la régularité de l'approvisionnement en glucose ; or, chez le ruminant, la disponibilité en glucose est un des facteurs limitants de la production laitière voire de la gestation ou de l'anabolisme corporel. De plus, les hypoglycémies sont souvent à l'origine de troubles métaboliques graves : acétonémie. L'objet de cet article est donc de faire le point sur les grandes voies du métabolisme du glucose et donc de la néoglucogenèse qui consiste en la fabrication de glucose par le foie à partir de composés glucoformateurs.

Les produits terminaux de la digestion

Digestion des glucides

Alors que dans l'organisme il n'existe qu'une seule forme de glucides de stockage (glycogène) et un seul glucide circulant ayant un rôle énergétique (glucose), les glucides de la ration sont très complexes. Ils sont constitués essentiellement de parois végétales (cellulose, hémi-cellulose, pectine), de glucides de réserves (amidon), de sucres solubles de faible poids moléculaire (saccharose, lactose, α -galactosides).

Les aliments ingérés par les ruminants séjournent d'abord dans le rumen où ils subissent des transformations importantes par la flore ou la faune. Ces fermentations conduisent à la production d'acides gras volatils ou d'acide lactique. Ces données ont été développées dans le livre sur ''l'Alimentation des ruminants'' (1978) mais il est nécessaire de rappeler les grandes lignes concernant la production des acides gras volatils. Les pourcentages des différents acides gras volatils produits dans le rumen dépendent de la vitesse des fermentations, du pH mais aussi de l'aliment et de la flore. Pour un pH neutre, c'est l'acide acétique qui est produit en plus grande quantité ; pour des pH plus acides, les pourcentages d'acides propionique et butyrique augmentent. En effet, les glucides peuvent subir une dégradation moins poussée : on a ainsi formation d'acide propionique à 3 atomes de carbone au lieu d'acide acétique à 2 atomes ou, lorsque le pH devient très acide et le milieu très réducteur, davantage d'acide acétique est condensé en acide butyrique. Lorsque le pH chute aux alentours de 5 il y a production d'acide lactique. Normalement, les fermentations lactiques sont peu importantes puisque ce composé peut entraîner une paralysie du rumen et un arrêt d'ingestion. L'acide lactique est, en fait, beaucoup moins rapidement absorbé et métabolisé que les acides gras volatils.

Une partie des glucides (amidon de maïs) peut cependant ne pas être dégradée dans le rumen et sera alors normalement hydrolysée et absorbée dans l'intestin grêle. De plus, il existe encore des possibilités de fermentations par la flore dans le gros intestin.

Digestion de l'azote

La digestion de l'azote dans le rumen est en partie dépendante de la digestion des glucides puisque les bactéries utilisent l'énergie produite lors de la dégradation des glucides en acides gras volatils pour effectuer leurs propres synthèses protéiques. Comme source azotée, elles peuvent utiliser l'azote ammoniacal provenant en grande partie des acides aminés des protéines alimentaires désaminés jusqu'au stade ammoniaque. L'azote protéique est dégradé de façon plus lente que l'azote non protéique, telle l'urée ; d'autre part, l'azote protéique apporte des facteurs de croissance aux bactéries du rumen (cl. ''Alimentation des Ruminants'', 1978).

La quantité des glucides digérée dans le rumen est limitée par les possibilités d'ingestion (ou par le risque d'acidose

lactique) dans le cas de glucides très fermentescibles, si bien que la fourniture d'azote microbien à l'animal est aussi limitée. Aussi, ne peut-on augmenter les apports d'azote par rapport à l'énergie qu'en diminuant la part dégradée dans le rumen, ce qui peut être obtenu avec certaines protéines alimentaires peu solubles qui échappent aux dégradations bactériennes. Les rapports entre énergie-azote sont très importants à considérer du point de vue nutritionnel mais aussi métabolique. En effet, le rumen capte une grande partie de l'urée sanguine, ce drainage est proportionnel aux concentrations plasmatiques en urée puisque le gradient de concentration sang-liquide du rumen est toujours favorable au passage de l'urée dans les réservoirs gastriques. Par conséquent, si l'apport en glucides est insuffisant, l'ammoniaque produite dans le rumen sera absorbée, transformée en urée au niveau du foie et une partie de cette urée sera à nouveau recyclée en ammoniaque dans le rumen. On a donc à la fois un gaspillage énergétique (l'uréogenèse hépatique demande beaucoup d'énergie) mais aussi un moyen relativement efficace de conservation de l'azote aux dépens de l'excrétion urinaire ; cette épargne est particulièrement précieuse lorsque la ration est pauvre en azote.

Quels que soient les processus, l'essentiel de l'absorption des acides aminés, qu'ils proviennent des protéines alimentaires non dégradées ou des protéines microbiennes, a lieu dans l'intestin grêle. C'est pourquoi les nouvelles normes expriment les besoins azotés en protéines digestibles dans l'intestin (PDI) qui représentent la somme des protéines alimentaires parvenant intactes jusqu'à l'intestin grêle et des protéines microbiennes synthétisées dans le rumen. Il est bien évident aussi que l'équilibre en acides aminés de la ration est d'autant plus important à considérer qu'une partie plus élevée des protéines alimentaires parvient jusqu'à l'intestin sans dégradation.

Les besoins en glucose de l'organisme

Fourniture d'énergie (tabl. 1)

L'organisme a un besoin permanent de glucose à des fins très diverses et en premier lieu à des fins énergétiques. A la différence des acides gras, le glucose est pratiquement utilisable par tous les tissus. De plus, le cerveau, les cellules sanguines, les muscles lisses tirent leur énergie entièrement du glucose ; lorsque le glucose est entièrement métabolisé jusqu'au CO_2, comme dans le cerveau, il est très énergétique (38 ATP par moles de glucose oxydé). La dégradation du glucose par la glycolyse anaérobie peut s'arrêter au pyruvate puis au lactate ne produisant que 2 ATP par moles de glucose ; cependant, le lactate libéré pourra être utilisé dans d'autres tissus et en particulier pour la synthèse du glucose hépatique.

Alors que certains tissus doivent toujours utiliser le glucose, d'autres tissus (muscles rouges, tissu adipeux) peuvent épargner très fortement le glucose. Le cerveau ne peut utiliser les acides gras parce-que ceux-ci ne peuvent pénétrer dans les cellules nerveuses ; les muscles lisses et les globules rouges ont peu ou n'ont pas de mitochondries et donc ne possèdent pas un cycle de Krebs suffisamment actif pour utiliser l'acetyl CoA. Il existe, par contre, des mécanismes d'épargne du glucose très efficaces dans les muscles rouges ou le tissu adipeux.

L'intensité de la glycolyse peut être tout d'abord contrôlée par la vitesse d'entrée du glucose dans les cellules qui dépend de l'insuline circulante. La sécrétion d'insuline dépend elle-même de la glycémie ainsi que du taux sanguin de divers produits terminaux de la digestion : acide propionique et acides aminés, ce qui conduit à son élévation après un repas. La vitesse de la glycolyse est aussi modulée par la production d'énergie due au catabolisme des acides gras gras ou des corps cétoniques. En effet, l'ATP produit bloque une enzyme clé de la glycolyse : la phosphofructokinase.

La glycolyse aboutit à la formation de pyruvate qui est aussi un carrefour métabolique important puisqu'il est soit transformé en lactate réutilisé dans d'autres tissus dont le foie, soit irréversiblement transformé en acetyl CoA par une enzyme régulatrice : la pyruvate déshydrogénase. Cette dernière est elle-même inhibée par l'acetyl CoA provenant de l'acétate, du catabolisme des acides gras longs ou des corps cétoniques ainsi que par l'ATP lui-même.

L'acétate provenant des fermentations et les acides gras provenant de la lipomobilisation contribuent donc à épargner le glucose mais aussi à accroître son recyclage en lactate particulièrement au niveau des muscles rouges. Chez le ruminant, l'acétate a un rôle important pour la fourniture d'acetyl CoA et d'énergie dans la plupart des tissus à l'exception peut-être du cerveau. Cependant l'utilisation de l'acétate dépend du niveau de la glycémie si bien qu'en cas d'hypoglycémie, l'acétate peut s'accumuler dans le sang parce-qu'il n'est pas utilisé assez rapidement.

Fourniture du nicotinamide adénine dinucliotide phosphate (NADPH)

De façon générale, même pour les tissus qui sont capables d'épargner efficacement le glucose, celui-ci reste nécessaire pour stimuler les processus d'anabolisme. Il contribue, par exemple, à la fourniture de NADPH qui est une forme particulière d'équivalent réduit nécessaire à la lipogenèse *de novo*. En effet, une partie du glucose peut être dégradée par une autre voie cytoplasmique (voie des pentoses) qui conduit à cette production de NADPH. Ce cofacteur peut être aussi produit chez le monogastrique par une enzyme faiblement active chez le ruminant (enzyme malique) par contre, cette espèce possède une autre enzyme (isocitrate déshydrogénase) qui permet d'épargner le glucose pour la fourniture de NADPH.

Participation à diverses synthèses

Chez le ruminant, le glucose contribue très peu à la fourniture d'Acetyl CoA pour la lipogenèse, par contre, il est nécessaire à la production du glycérophosphate pour la synthèse des triglycérides et des phospholipides voire des glucides divers (glycoprotéines, ribose). L'utilisation la plus importante du glucose est bien sûr la synthèse du lactose (environ 50 g/l de lait) mais aussi en fin de gestation il existe une dépense très importante de glucose par le complexe

TABLEAU I

Utilisation des différents substrats par les principaux tissus de l'organisme

	SOURCES D'ENERGIE	UTILISATIONS DE L'ENERGIE	SOURCES DE CARBONE POUR LES SYNTHESES
Foie	- acides gras courts,moyens - acides gras longs	- néoglucogénèse - uréogénèse - protéosynthèse - synthèse de lipoprotéines	- acides gras volatils - acides gras longs - acides aminés - lactose, glycérol
Tube digestif R = Rumen i = intestin grêle	- acétate, butyrate (R) - acides gras longs (R) - glucose (i) - glutamine (i) - corps cétoniques (i)	- absorption - motricité - synthèse secrétions digestives - renouvellement cellulaire	- acides aminés
Rein	- acides gras longs - acides aminés	- excrétion, réabsorption - néoglucogénèse - lutte contre l'acidose	- acides aminés
Tissus adipeux	- acétate - glucose - lactate (±)	- lipogénèse - fourniture de NADPH	- acétate principalement - glucose pour la synthèse de glycérol
Glande mammaire	- acétate - glucose	- lipogénèse - protéosynthèse - synthèse du lactose	- acétate - corps cétoniques - acides gras longs - glucose - acides aminés
Muscles	- acides gras longs - acétate - corps cétoniques - glucose	- contraction musculaire - protéosynthèse	- acides aminés
Cerveau et cellules sanguines	- glucose	- fonctionnement cellulaire	

foeto-placentaire ; toutefois, dans ce dernier cas, une partie du glucose est utilisée à des fins énergétiques par le foetus ou recyclée sous forme de lactate.

Quantification des besoins chez la vache

Les besoins en glucose de l'organisme sont malaisés à définir, du fait de la multiplicité des voies d'utilisation du glucose. On peut, néanmoins, évaluer les besoins à un peu moins de 1 kg/24 h chez des vaches taries sur des rations proches de l'entretien (BAIRD *et al.,* 1980). Ces besoins augmentent évidemment de façon considérable chez la vache en lactation (sans doute plus de 3 kg/24 h pour une production de 40 kg/jour, ELLIOTT, 1980) : dans ces besoins le lactose exporté dans le lait représente 2 kg de glucose auquel il faut ajouter le glucose indispensable aux synthèses protéiques et lipidiques de la mamelle. Il est vraisemblable que les mécanismes d'épargne du glucose au niveau du muscle et du tissu adipeux ont une efficacité maximale lorsque la glycémie décroît alors que les acides gras libres, les corps cétoniques voire l'acétate sont très élevés. Toutefois, même si les exigences en glucose de nombreux tissus diminuaient, ces exigences risquent de s'accoître dans de nombreux autres tissus tels que le tube digestif et évidemment la mamelle. Ainsi il semble probable que les besoins en glucose pour l'entretien sont peut modifiés chez la vache laitière et que les besoins pour la lactation s'y surajoutent presque directement.

Fourniture du glucose

Généralités sur le rôle du foie

Dans la mesure où le ruminant absorbe peu de glucose, c'est donc essentiellement la néoglucogenèse hépatique qui devra assurer cette fonction. Elle contribue à raison de plus de 85 % à la fabrication du glucose, les reins pouvant surtout dans les cas d'acidose utiliser certains acides aminés (glutamine) pour la néoglucogenèse.

Le foie est un organe volumineux (1/30ème du poids de l'organisme). Les cellules hépatiques ont la propriété remarquable de s'adapter aux diverses situations nutritionnelles par la synthèse d'enzymes (phénomène d'induction). De même, le tissu adipeux répond particulièrement bien aux facteurs nutritionnels, ce qui est en accord avec son rôle de stockage d'énergie. Par contre, les caractéristiques métaboliques (ce qui n'exclut pas des possibilités de régulation au niveau du choix des substrats énergétiques comme nous l'avons vu) des autres tissus (cerveau, coeur, muscles rouges, tube digestif) (cf. tableau) sont remarquablement constantes. C'est donc au foie qu'arrivent après absorption tous les éléments nutritifs par la veine porte ou partiellement par la voie lymphatique. Son rôle est de transformer et de distribuer les métabolites qui lui sont apportées de façon intermittente et de maintenir éventuellement leur taux constant dans le sang, le foie est donc au carrefour des trois principaux métabolismes :

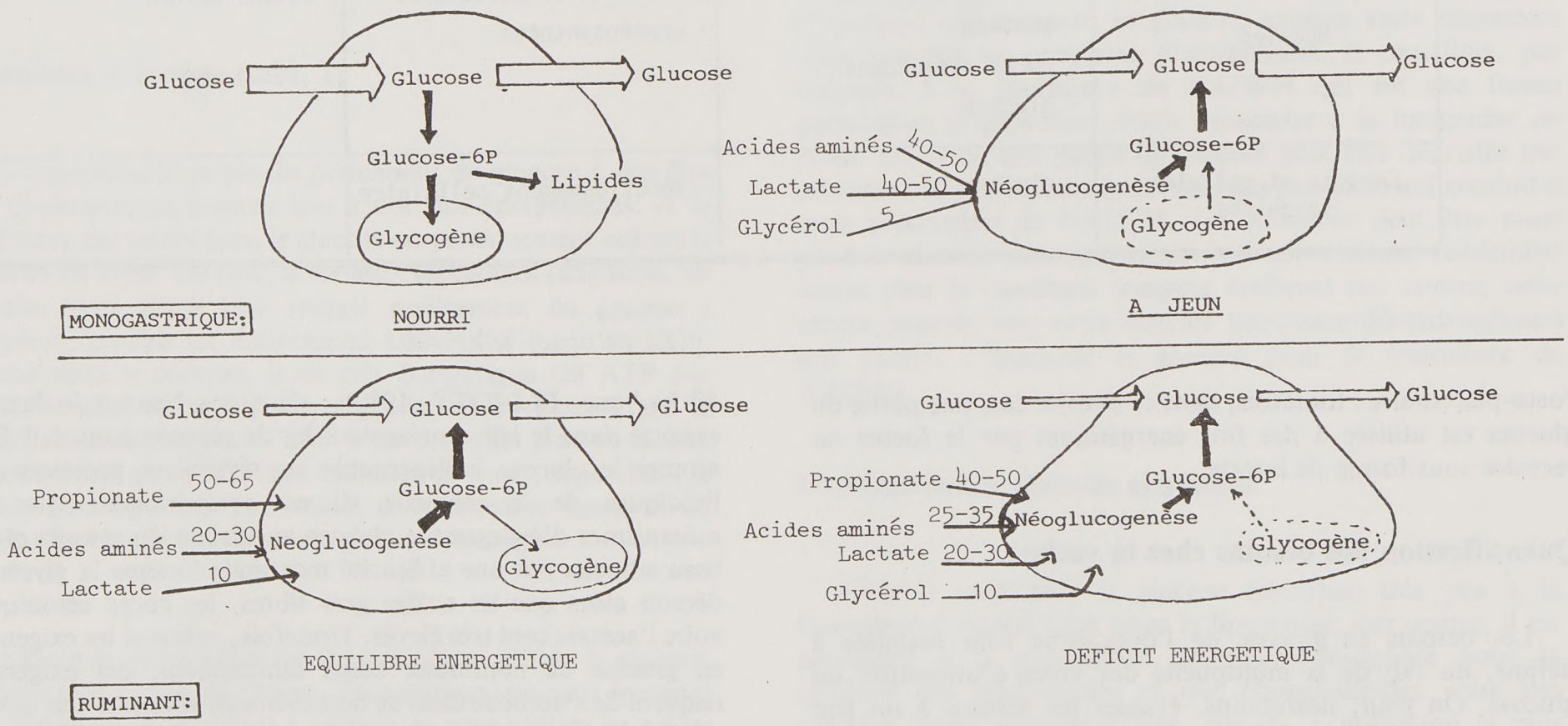
- Celui des glucides : il assure une utilisation presque complète de certains glucides absorbés (galactose, fructose) et d'une partie du glucose absorbé pour la synthèse du glycogène ou la lipogenèse chez le monogastrique. Il est pratiquement le seul organe à libérer du glucose par glycogénolyse ou néoglucogenèse.

- Celui des acides aminés : le squelette de presque tous les acides aminés captés est métabolisé dans le foie vers la néoglucogenèse ou à des fins énergétiques. La synthèse de l'urée ou des autres formes d'élimination du NH_3 (glutamine) est également hépatique. De nombreuses synthèses protéiques sont aussi effectuées dans le foie qui libère un certain nombre de protéines dans la circulation générale.

- Celui des lipides : le foie est le siège avec l'intestin de la synthèse des triglycérides circulants. Il catabolise l'excès des acides gras provenant de la lipolyse en corps cétoniques. La lipogenèse *de novo* (synthèse d'un acide gras à partir d'un élément carboné basal : l'acetyl CoA) est, par contre, très faible dans le foie des ruminants.

Le métabolisme du glycogène et de la néoglucogenèse chez le ruminant et le monogastrique (schéma 1)

Le ruminant n'absorbe habituellement que peu de glucose, il est donc obligé de le synthétiser à partir de composés glucoformateurs. D'ailleurs, il est faiblement pourvu d'un système enzymatique (glucokinase) permettant l'utilisation du glucose dans le foie, (BALLARD *et al.*, 1969). Le glucose capté par le foie chez le monogastrique peut être engagé dans divers métabolismes (synthèse du glycogène ou glycolyse puis transformation du pyruvate produit en acetyl CoA qui peut être lui-même dirigé vers la lipogenèse). Chez le ruminant, la synthèse du glycogène hépatique s'effectue principalement à partir du glucose néoformé (ce processus existe aussi chez le monogastrique recevant des rations pauvres en glucides). Le stockage d'énergie sous forme de glycogène est d'ailleurs très limité pour des raisons d'encombrement intracellulaire (le glycogène fixant de l'eau). Chez le ruminant, le métabolisme du glycogène est beaucoup moins important que chez le monogastrique puisque les réservoirs gastriques permettent une absorption continue des principaux nutriments.



SCHEMA 1 : *Comparaison du métabolisme hépatique du glucose chez le monogastrique et chez le ruminant*
Les chiffres correspondent à la contribution des substrats glucoformateurs (en %) au glucose formé.

Au cours du jeûne, chez le monogastrique, la fourniture du glucose est assurée d'abord par la glycogénolyse hépatique (la glycogénolyse musculaire ne produit pas du glucose mais de l'acide lactique) puis la néoglucogenèse prend le relais.

Ainsi chez l'homme où la physiologie du jeûne a été particulièrement bien étudiée, la glycogène hépatique est pratiquement épuisée au bout de 24 h de jeûne. La mobilisation des protéines corporelles très intense au départ (75 g/j) diminue rapidement au bout d'une semaine (25 g/j) alors que la lipomobilisation reste constante (FELIG, 1975). La néoglucogenèse diminuera donc d'intensité par un manque de substrats assurant un apport net de glucose (acides aminés, glycerol) et fonctionnera principalement à partir du lactate.

Chez le ruminant, en l'absence d'absorption du glucose, comme chez le monogastrique avec certains régimes dépourvus de glucides, la néoglucogenèse est permanente. Cette voie est maximale chez le ruminant nourri, pour diverses raisons : forte absorption de substrats glucogéniques (propionate, acides aminés), état endocrinien favorable (élévation post-prandiale du glucagon, qui est l'hormone clé de la néoglucogenèse). Dans les 2 premiers jours de jeûne, le ruminant à jeun, à l'inverse du monogastrique, présente un ralentissement de la néoglucogenèse accompagné d'un changement dans les substrats disponibles (diminution de la captation du propionate, augmentation de celle des acides aminés et du lactate).

La régulation de la néoglucogenèse dépend donc de la nature et de la disponibilité en substrats, des modalités de leur captation mais aussi de l'activité des enzymes clé et de l'apport d'énergie.

Nature et disponibilité des substrats glucoformateurs

Le schéma 2 présente les divers précurseurs glucoformateurs et cétogènes. Plusieurs points sont à noter :

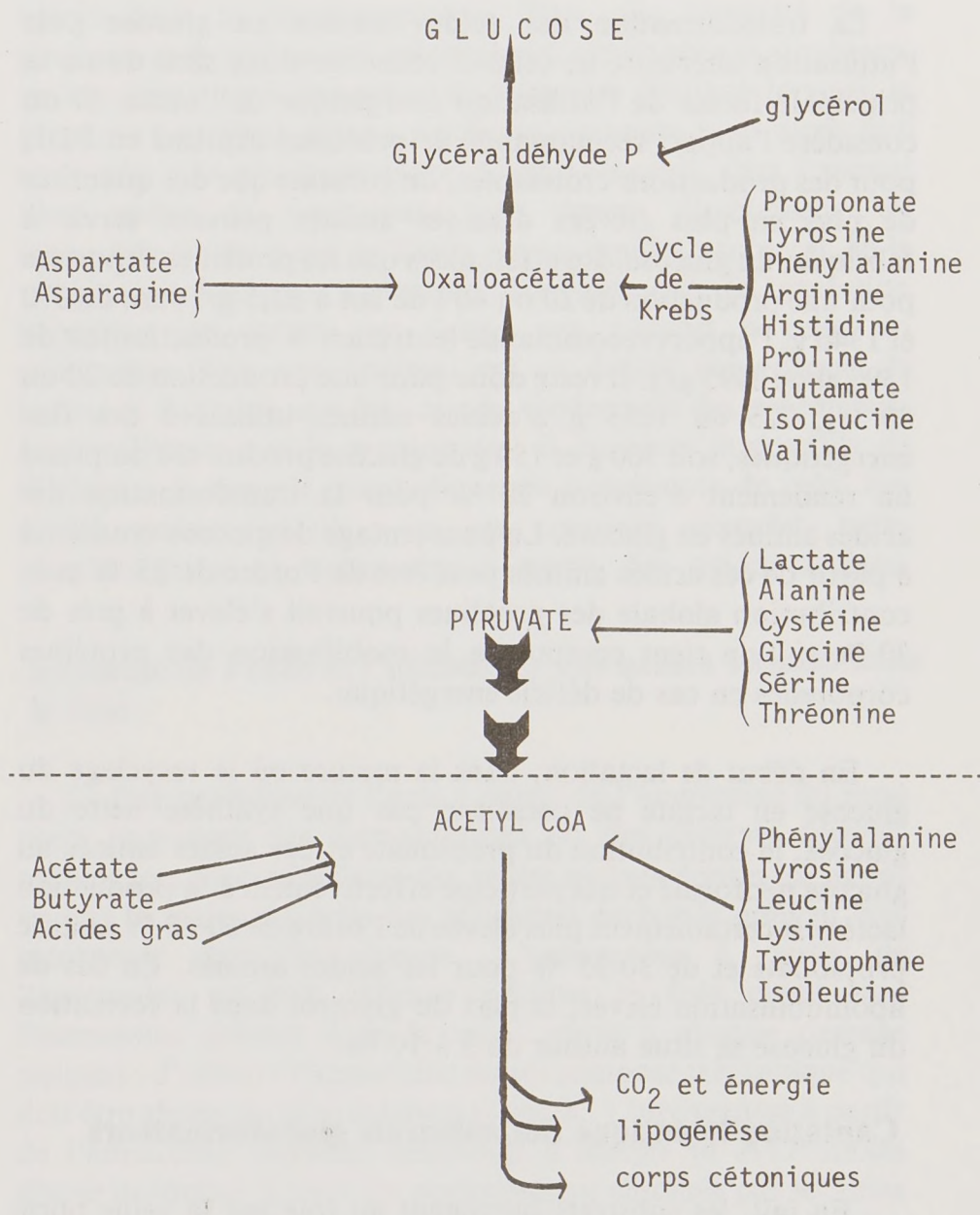
1°) un précurseur glucoformateur peut ne pas être entièrement utilisé pour la synthèse du glucose mais transformé via le pyruvate en acetyl CoA pour la production d'énergie ou dans diverses synthèses.

2°) par contre, les précurseurs cétoformateurs ne peuvent, en aucune façon, conduire à la synthèse du glucose, la barrière est située au niveau du passage pyruvate → acetyl CoA qui ne peut s'effectuer que dans le sens de la dégradation du pyruvate.

3°) on peut donc dire que tous les composés qui doivent passer par la pyruvate déshydrogénase pour donner de l'acetyl CoA sont glucoformateurs (glycerol, propionate, lactate, acides aminés).

4°) certains acides aminés (phenylalanine, tyrosine, isoleucine) appartiennent aux deux catégories. Ce point s'explique par le fait que leurs chaînons carbonés comportent des éléments glucoformateurs et d'autres cétoformateurs. Du point de vue quantitatif, les acides aminés cétoformateurs sont peu importants (lysine, leucine mais cette dernière est transaminée dans le muscle pour donner de l'alanine).

En fait, les principaux substrats glucoformateurs chez le ruminant nourri sont le propionate, puis les acides aminés et enfin le lactate et le glycérol.



SCHEMA 2 : *Substrats glucoformateurs et cétoformateurs*

Chez les animaux à jeun, l'importance du propionate diminue considérablement alors que les acides aminés deviennent les principaux substrats glucoformateurs avec le glycérol et le lactate. Parmi les acides aminés potentiellement glucogéniques l'alanine, la glutamine, l'acide glutamique la sérine et la glycine en sont les principaux de par leur disponibilité et l'équipement enzymatique au niveau du foie et du rein (TRENKLE, 1980).

Il faut souligner que l'utilisation du lactate pour la néoglucogenèse ne correspond pas vraiment à une synthèse nette du glucose dans la mesure où le lactate provient de la glycolyse elle-même.

L'importance relative des divers substrats glucoformateurs n'est pas connue de façon précise, notamment celle des acides aminés par rapport au propionate. De plus, la proportion du propionate capté transformé en glucose (pour un rendement de 100 %, 2 moles de propionate donnent 1 mole de glucose) varie considérablement selon les auteurs (de 30 à plus de 60 %, YOUNG, 1976).

Il est probable que lorsque la disponibilité en glucose est élevée, la transformation du propionate en glucose est mauvaise, par contre, avec des besoins en glucose très élevés dus à une forte lactation ce pourcentage doit être important sans doute bien supérieur à 60 % comme le souligne ELLIOTT (1980) si l'on veut rendre compte des quantités de glucose disponibles dans l'organisme de la vache.

La transformation des acides aminés en glucose puis l'utilisation ultérieure de celui-ci constitue donc sans doute la principale forme de l'utilisation énergétique de l'azote. Si on considère l'apport recommandé de protéines exprimé en PDI, pour des productions croissantes, on constate que des quantités de plus en plus élevées d'acides aminés peuvent servir à fabriquer du glucose. En effet, alors que les protéines exportées pour une production de 20 ou 40 l de lait à 33,5 g/l sont de 670 et 1340 g, l'apport recommandé (entretien + production)est de 1395 et de 2395 g/j. Il reste donc pour une production de 20 ou 40 l/j, 725 ou 1055 g d'acides aminés utilisés à des fins énergétiques, soit 500 g et 750 g de glucose produit si l'on prend un rendement d'environ 70 % pour la transformation des acides aminés en glucose. Le pourcentage de glucose synthétisé à partir de ces acides aminés peut être de l'ordre de 25 % et la contribution globale des protéines pourrait s'élever à près de 30 % si l'on tient compte de la mobilisation des protéines corporelles en cas de déficit énergétique.

En début de lactation, dans la mesure où le recyclage du glucose en lactate ne constitue pas une synthèse nette du glucose, la contribution du propionate et des acides aminés au glucose néoformé et qui participe effectivement à la production lactée est certainement plus élevée de l'ordre de 60-65 % pour le propionate et de 30-35 % pour les acides aminés. En cas de lipomobilisation élevée, la part du glycerol dans la formation du glucose se situe autour de 5 à 10 %.

Captation hépatique des substrats glucoformateurs

En fait, les substrats parvenant au foie par la veine porte sont captés de façon très différente. Le propionate est le substrat le plus intéressant puisqu'il est extraît en totalité par le foie. La captation du lactate dépend essentiellement de la disponibilité en propionate et du niveau glycémique. Le pourcentage de captation passe de 9 % chez la vache tarie à près de 30 % chez la vache en début de lactation et 50 % chez la vache à jeun 48 h (cf. tableau 2).

La captation des acides aminés dépend d'un système complexe de transporteurs situé sur la membrane des hépatocytes. L'activité de ces transporteurs est contrôlée par l'état endocrinien et plus particulièrement par le glucagon et les glucocorticoïdes, hormones dont l'action est prépondérante en cas de déficit énergétique. L'extraction de certaines acides aminés glucoformateurs (alanine principalement) augmente donc en cas de restriction énergétique comme celle du lactate. De plus, l'utilisation hépatique de l'ensemble des acides aminés sauf les acides ramifiés dépend du taux protéique de la ration. Chez le monogastrique ce point est très spectaculaire puisqu'il est possible de faire varier expérimentalement le taux protéique de la ration de 5 à près de 80 % avec, dans ce dernier cas, une utilisation par le foie presque quantitative des acides aminés absorbés (REMESY *et al.*, 1978). Chez le ruminant, il est beaucoup plus difficile d'augmenter la quantité des acides aminés absorbés par rapport aux autres nutriments. Cependant, un apport important de tourteaux (particulièrement s'ils sont peu solubles ou protégés) peut permettre d'apporter plus d'acides aminés que les besoins de l'organisme ne l'exigeraient et aboutit donc à faire cataboliser par le foie une part élevée des acides aminés absorbés. En fait, il ne faut pas voir le métabolisme hépatique de façon trop schématique, le foie captant seulement les acides aminés non nécessaires aux synthèses protéiques de l'organisme. En effet, le foie peut soustraire des acides aminés au détriment des synthèses protéiques lorsque la néoglucogenèse à partir du propionate est faible. Il est d'autant mieux placé pour le faire qu'il reçoit directement le sang porte drainant les nutriments.

TABLEAU II

Bilans digestifs et hépatiques **(en mmoles/min).**

	Bilans	Vaches taries	Vaches en lactation	Contribution théorique au glucose formé	
				Vaches taries	Vaches lactation
GLUCOSE	digestif	+ 0,10	- 0,28		
	hépatique	+ 4,00	+ 6,54		
PROPIONATE	digestif	+ 4,88	+ 7,47	56 %	50 %
	hépatique	- 4,53	- 6,91		
LACTATE	digestif	+ 1,53	+ 1,76	11 %	21 %
	hépatique	- 0,85*	- 2,99*		
PYRUVATE	digestif	- 0,01	+ 0,07		
	hépatique	+ 0,16	- 0,23		

Les vaches taries recevaient un apport quotidien d'énergie métabolisable de 66 MJ et les vaches au 2ème ou 3ème mois de lactation recevaient 122 MJ (d'après Baird et al., 1980).

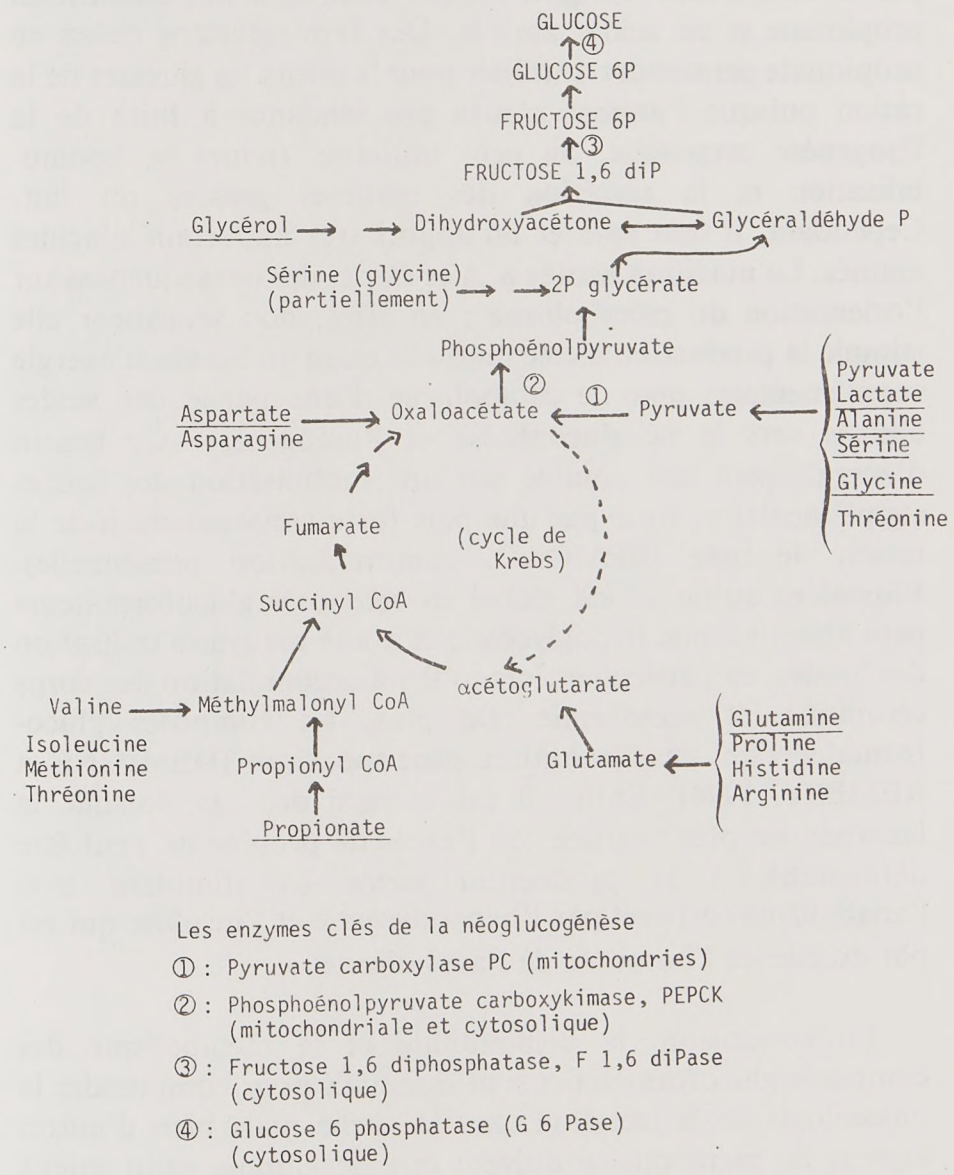
Les valeurs positives correspondent, au niveau digestif, à une absorption ou (et) à une production par le tube digestif et, au niveau hépatique, à une production par le foie.

Les valeurs négatives correspondent pour les deux territoires, à une captation des substrats circulants.

* *Les pourcentages de captation hépatique sont de 9 % chez les vaches taries contre 30 % chez les vaches en lactation.*

Activité des enzymes clés et contrôle endocrinien (sch. 3)

La néoglucogenèse hépatique nécessite donc un apport suffisant en substrats mais il faut aussi que les enzymes-clés contrôlant la voie métabolique soient pleinement actives. Rappelons que certaines étapes enzymatiques sont réversibles, opèrent à l'équilibre, alors que d'autres enzymes sont régulatrices, c'est-à-dire que leur activité est contrôlée par divers effecteurs. Les enzymes-clés de la glycolyse sont toujours peu actives dans le foie du ruminant. Les enzymes de la néoglucogenèse sont activées par le glucagon et les glucocorticoïdes. Or, ces dernières hormones favorisent la protéolyse musculaire et peuvent contribuer à accroître la synthèse d'enzymes (transaminases, enzymes du cycle de l'urée) alors que le glucagon agit par l'activation des enzymes clé. La diminution de la sécrétion d'insuline associée à la sécrétion de ces hormones et d'autres hormones lipolytiques (hormone de croissance) entraîne la mobilisation des graisses corporelles. C'est pourquoi il n'est pas indifférent pour le ruminant qu'un apport de glucose exogène remplace la néoglucogénèse, en effet, l'absorption de glucose oriente plus rapidement que chez le monogastrique le métabolisme vers la lipogenèse corporelle, comme, par exemple, avec certaines rations contenant du maïs ou une très forte part de concentré.



SCHEMA 3 : *Les voies d'entrée des substrats glucoformateurs dans la néoglucogenèse*
(les principaux substrats sont soulignés)

La pyruvate carboxylase est l'enzyme la plus importante à considérer puisque certains substrats sautent cette étape (propionate, acides aminés conduisant à un intermédiaire du cycle de Krebs) alors que les substrats donnant du pyruvate (lactate, alanine, sérine) dépendent de son activité pour leur entrée dans la néoglucogenèse. Bien que l'activité de la pyruvate carboxylase soit relativement élevée chez le ruminant, cette enzyme peut présenter un caractère limitant lorsque la glycémie est élevée et une partie du pyruvate peut alors être soustraite à la néoglucogenèse. C'est pourquoi, chez l'animal bien nourri, le propionate qui donne directement un intermédiaire du cycle de Krebs est un meilleur substrat de la néoglucogénèse que le lactate d'autant que la captation hépatique du lactate est faible par rapport à celle du propionate. Dès que l'animal est en déficit énergétique, le lactate et l'alanine une fois captés, deviennent des précurseurs aussi efficaces que le propionate ; il est alors impossible de distinguer le devenir métabolique du propionate de celui des acides aminés et il y a un couplage complet entre néoglucogenèse et uréogenèse à partir des acides aminés.

Synthèse de l'urée et l'utilisation des acides aminés dans le foie

Le foie synthétise de l'urée à partir de l'ammoniac du sang porte provenant des fermentations ou des diverses désaminations lors du catabolisme des acides aminés dont nous avons vu que la majeure partie des squelettes carbonés pouvait être incorporée dans le glucose. L'uréogenèse à partir de l'ammoniac est très efficace puisque le foie capte tout l'ammoniac présent dans la veine porte à chaque passage sanguin ; d'ailleurs l'ammoniac est un composé très toxique qui doit être absent de la circulation générale. L'uréogenèse à partir de l'ammoniac nécessite beaucoup d'énergie (4 ATP/moles d'urée produite). L'urée est normalement éliminée par les reins ou recyclée dans le tube digestif mais il faut éviter la production d'un excès d'ammoniac dans le rumen en particulier par un apport trop élevé d'azote soluble dans la ration.

Soulignons que les acides aminés captés par le foie, à la différence de l'ammoniac, ne sont pas nécessairement dirigés vers l'uréogenèse. En effet, il existe dans le foie de nombreuses synthèses protéiques : en période absortive il y a globalement élévation du poids du foie alors qu'à jeun l'inverse a lieu, la diminution du poids du foie étant proche de 30 % au bout de 3 à 4 jours de jeûne, tout au moins chez le monogastrique. Le foie exporte aussi de nombreuses protéines (albumine, lipoprotéines). En cas de malnutrition protéique, on peut donc observer une diminution de l'albumine sanguine ou de certaines lipoprotéines indispensables au transport des lipides et à la lutte contre la stéatose hépatique. Certaines carences en acides aminés (méthionine) auraient un effet très marqué sur la synthèse des lipoprotéines nécessaires au transport des triglycérides (Mc CARTHY *et al.*, 1968).

Fourniture d'énergie pour la néoglucogénèse et l'uréogenèse

Par rapport aux diverses synthèses hépatiques, la néoglucogenèse et l'uréogenèse sont les deux fonctions qui consomment le plus d'énergie dans le foie. L'énergie nécessaire à la synthèse du glucose à partir du propionate, du lactate ou de l'alanine est très différente : 4, 6 et 10 ATP respectivement par molécule de glucose produite. Une molécule de glucose ne fournit que 2 ATP dans le glycolyse anaérobie et 38 ATP lorsqu'elle est oxydée entièrement ; on voit donc que le rendement énergétique de la néoglucogenèse couplée à

l'uréogenèse (cas de l'alanine) est particulièrement faible. En fait, il faut souligner que l'énergie pour la néoglucogenèse ne provient normalement pas du catabolisme des substrats glucoformateurs mais plutôt du catabolisme des acides gras. On peut schématiquement considérer deux situations :

- une situation de carence en composés glucoformateurs ; l'hypoglycémie favorisera la mobilisation des acides gras et il est bien certain que le rendement de la transformation des composés glucoformateurs en glucose sera optimum (proche de 100 %).

- une situation d'excès en composés glucoformateurs qui peut aboutir à un gaspillage d'une partie du squelette carboné vers la production de CO_2 ou de synthèses diverses (lipogénèse) conduisant à une mauvaise transformation, par exemple du propionate en glucose. En fait, dans des cas moyens, l'énergie pour la synthèse du glucose et de l'urée peut provenir du catabolisme des acides gras volatils cétoformateurs, des acides gras libres et très partiellement des substrats glucoformateurs eux-mêmes.

Moblisation des réserves corporelles

En cas de déficit énergétique, en particulier en début de lactation, non seulement les acides aminés absorbés ne seront plus entièrement disponibles pour les synthèses protéiques mais aussi des protéines corporelles seront mobilisées pour assurer la néoglucogenèse. A cet égard, la physiologie de la vache en début de lactation est analogue à celle de tout organisme en déficit énergétique. Dans un premier temps la mobilisation protéique sera très intense puis diminuera rapidement ce qui explique en partie le caractère transitoire de certains pics de production laitière, 3 semaines environ après la mise bas. En effet, à la différence des lipides, les réserves en protéines moblisables sont relativement limitées et vite épuisées.

Certains auteurs (BELYEA *et al.,* 1978) ont donné des chiffres de 1 à 22 kg de protéines corporelles mobilisables. Ces estimations sont donc très variables, le maximum de protéines mobilisables serait sans doute proche de 20% de la masse protéique totale, jusqu'à 25 % selon BOTTS *et al.,* (1979). Il est probable que divers facteurs peuvent contribuer à l'acquisition d'une masse musculaire importante en fin de gestation (qualité de la nutrition azotée, exercice musculaire). Le problème de la mobilisation des lipides est plus complexe : bien qu'il soit exact que les réserves en lipides soient plus régulièrement et plus longtemps mobilisables que les protéines (cf. physiologie du jeûne de longue durée), il faut aussi considérer qu'une bête grasse pourra mobiliser des quantités plus importantes de lipides qu'une vache maigre pour la production lactée.

Modalités de la mobilisation des protéines corporelles

Alors que l'utilisation des acides aminés absorbés peut s'effectuer directement par le foie, la mobilisation des protéines corporelles est soumise à certaines règles. Notons d'abord qu'elle est surtout dépendante de la sécrétion des glucocorticoïdes. De plus, lorsqu'il y a une protéolyse nette, certains acides aminés passent directement dans le sang et seront utilisés dans le foie ou éventuellement dans le lait, alors que d'autres acides aminés sont transaminés dans le muscle avant d'être libérés. C'est le cas de la leucine, de l'isoleucine, de la valine, de l'aspartate et du glutamate ; ce métabolisme conduit à la synthèse d'alanine et de glutamine. Alors que l'alanine est particulièrement bien captée par le foie, en cas de déficit énergétique, la glutamine est préférentiellement utilisée dans l'intestin grêle ou les reins (BERGMAN et HEITMANN, 1978). Dans l'intestin, son métabolisme conduit à la synthèse d'alanine, dans les reins il conduit à la synthèse de glucose et à l'élimination de l'ammoniaque dans l'urine qui pourra fixer un H^+ et lutter ainsi contre l'acidose métabolique (accumulation d'acides organiques tels que les corps cétoniques).

Conséquences de la disponibilité en composés glucoformateurs

En début de lactation, chez les vaches à haut potentiel de production, il faut souligner l'importance de la disponibilité en propionate et en acides aminés. Des fermentations riches en propionate permettent d'utiliser pour le mieux les glucides de la ration puisque l'animal n'aura pas tendance à faire de la lipogenèse corporelle, on peut toutefois freiner la lipomobilisation et la sécrétion des matières grasses du lait. Cependant, il faut assurer un apport très important d'acides aminés. La nutrition azotée a, à ce stade, des conséquences sur l'orientation du métabolisme : en effet, non seulement elle stimule la production lactée mais elle exige un besoin d'énergie supplémentaire pour le catabolisme d'une partie des acides aminés vers la néoglucogénèse et l'uréogenèse. Ce besoin d'énergie peut être comblé par une mobilisation des lipides supplémentaire, voire par une plus forte consommation de la ration de base (REMOND, communication personnelle). Rappelons qu'un déficit global en composés glucoformateurs peut aboutir à une hypoglycémie et à une mauvaise utilisation des lipides, en particulier lorsqu'il y a accumulation des corps cétoniques et acétonémie. De plus, les composés glucoformateurs ont un effet anticétogène spécifique (DEMIGNE et REMESY, 1976). Enfin, il existe aussi des cas, lorsque la lactation est plus avancée, ou l'excès de propionate peut être défavorable à la production lactée en stimulant trop l'anabolisme corporel par l'hyperglycémie et l'insuline qui est par excellence l'hormone de l'anabolisme.

En conclusion, la disponibilité et le métabolisme des composés glucoformateurs sont essentiels pour comprendre la physiologie de la lactation chez la vache mais bien d'autres aspects du métabolisme doivent être développés pour mieux cerner les diverses intéractions du métabolisme des glucides, des lipides et de l'azote impliqués dans la lactation.

Références bibliographiques

BAIRD G.D., LOMAX M.A., SYMONDS H.W., SHAW S.R., 1980 Net hepatic and splanchnic metabolism of lactate, pyruvate and propionate in dairy cows *in vivo* in relation to lactation and nutrient supply. *Biochem. J.*, **186**, 47.

BALLARD F.J., HANSON R.W., KRONFELDS D.S., 1969. Gluconeogenesis and lipogenesis in tissue from ruminant and non ruminant animals. *Fed. Proc.*, **28**, 218.

BELYEA R.L., FROST G.R., MARTZ F.A., CLARK J.L., FORKNER L.G. 1978. Body composition of dairy cattle by potassium 40 liquid *J. Dairy Sc.*, **61**, 206-211.

BERGMAN E.N., HEITMANN R.N., 1978. Metabolism of amino acids by the gut, liver, kidneys and peripheral tissus. *Fed. Proc.*, **37**, 1228.

BOTTS R.L., HEMKEN R.W., BULL S.L., 1979. Protein reserves in the lactating dairy cow. *J. Dairy Sc.*, **62**, 433-440

DEMIGNE C., REMESY C., 1976. La cétogenèse chez le ruminant à jeun. Influence des acides gras volatils, du glucose et de l'alanine. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, **17**, 887.

ELLIOT J.M., 1980 In *Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants,* chap. Propionate Metabolism and Vitamin B12, p.485-504 Ed. MTP Press, Lancaster.

LEHNINGER A.L., 1977. *Biochimie,* p. 833, Flammarion, Paris

Mc CARTHY R.D., PORTER G.A., GRIEL L.C., 1968. Bovine ketosis and depressed fat test in milk : a problem of methionine metabolism and serum lipoprotein aberration. *J. Dairy Sc.*, **51**, 459.

REID I.M., 1981. In : *Metabolic disorders in farm animals,* chap. Fatty Liver in Dairy Cows. Incidence, severity, pathology and functional consequences, p. 98. Ed. Tierärzliche Fakultät der Universität München, Munich.

REMESY C., DEMIGNE C., AUFRERE J., 1978. Interorganal relationship of glucose, lactic acid and amino acids in rats fed on high carbohydrate or high protein diets. *Biochem. J.*, **170** p.320-329

TRENKLE A.H., 1980. In : *Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants,* chap. Amino acid metabolism and hormonal control during growth, p. 505-522, ed. MTP Press Lancaster.

VERITE R., JOURNET M., 1978. In : *INRA, Alimentation des ruminants,* chap. Vaches laitières, p. 345-376. Ed. INRA Publications, Route de St Cyr, Versailles

YOUNG J.W., 1976. Gluconeogenesis in cattle : Significance and methodology *J. Dairy Sc.*, **60**, 1

Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., 1981 (45) 37-41.

Utilisation du pois et du lupin en remplacement du tourteau de soja par l'agneau en croissance et à l'engraissement

R. GIOVANNI

Station de Recherches Zootechniques
65, rue St Brieuc, 35042 Rennes

De nombreuses raisons, principalement économiques, militent en faveur d'une utilisation plus importante des sources de protéines métropolitaines, et en particulier des graines protéagineuses (féverole et pois) dont la culture, par ailleurs connue depuis longtemps, est possible sur une grande partie du territoire. Si des difficultés persistent dans l'obtention de variétés de féverole (*Vicia faba* L.) à rendement élevé et régulier, par contre les travaux de sélection entrepris sur le poids protéagineux (*Pisum sativum* L.) ont permis de créer de nouvelles variétés d'hiver ou de printemps dont la production à l'hectare (40 à 50 q) et la teneur en protéines (25 p.100 MAT/MS) sont susceptibles d'intéresser autant l'agronome que le zootechnicien. De plus, de récents travaux concernant l'adaptation et la sélection du lupin doux (*Lupinus albus* L.) en France incitent à penser que cette graine riche en matières azotées (38 à 40 p.100 MS) pourrait compléter favorablement les sources de protéines métropolitaines. Par ailleurs, il faut rappeler la réglementation européenne adoptée en 1976 et en 1978 à Bruxelles qui, en particulier pour le poids protéagineux, tend à favoriser sa production et son utilisation dans l'alimentation concentrée.

Diverses expérimentations ont maintenant été réalisées depuis une dizaine d'années afin de définir les conditions d'emploi de la féverole et du pois tant chez les monogastriques que chez les ruminants. Si, chez les monogastriques, les contraintes d'utilisation de ces protéagineux liées à leur dose d'introduction, à l'équilibre des acides aminés ou à la présence de facteurs indésirables (tannins, galactosides, hémaglutinine,...) sont maintenant assez bien connues, chez les ruminants et les jeunes en particulier, il paraît intéressant d'observer si ces graines de protéagineux peuvent remplacer en totalité ou non le tourteau de soja classiquement utilisé dans les aliments concentrés. Chez le jeune veau, le remplacement du tourteau de soja par la féverole ou le pois dès la première semaine de distribution de l'aliment concentré n'a pas entrainé de troubles sanitaires, ni de différences significatives dans les quantités ingérées ou dans les gains de poids vif bien que ceux-ci aient souvent été légèrement inférieurs à ceux des lots Témoin (GIOVANNI *et al.*, 1975 ; GIOVANNI *et al.*, 1981). Chez l'agneau aux alentours du sevrage, il semble préférable de conserver 5 à 10 p.100 de tourteau de soja dans l'aliment concentré pour éviter une diminution des performances observée avec le pois seul, en grain entier, aplati ou introduit dans l'aliment concentré (REYNE et GARAMBOIS; 1975 ; CAZES et VAN QUACKEBEKE, 1976). Après sevrage, le jeune ruminant parait capable de bien utiliser ces protéines au niveau du rumen, mais avec des aliments concentrés riches en matières azotée (18 à 22 p.100 MAT/MS) les performances des agneaux ou des chevreaux peuvent être inférieures de 20 à 40 g/j chez des animaux de même race, selon l'essai et les variétés de pois ou de lupin utilisées (TISSERAND *et al.*, 1976-1980).

Compte-tenu de ces informations, l'objectif des deux essais entrepris à Rennes a été de voir si, dans des conditions d'une alimentation rationnée et avec des aliments concentrés d'une teneur moyenne en matières azotées (16 p.100 MAT/MS) et équilibrés en PDI, les performances des agneaux après le sevrage et les résultats d'abattage étaient influencés par l'introduction du pois ou du lupin.

Conditions expérimentales

Les deux essais réalisés en 1979 (essai 1) et en 1980 (essai 2) ont été conduits dans des conditions d'expérimentation très voisines.

Les agneaux, issus d'un troupeau de brebis de race limousine et de race charmoise, entretenu sur la station, ont été suivis depuis la naissance et répartis chaque année en 3 lots en fonction de leur race, de leur sexe, de leur poids et de leur gain de poids vif antérieur, notamment du sevrage à la mise en lot. Chaque lot de 20 agneaux a été affecté à l'un des trois régimes figurant au tableau I, chaque régime (aliment concentré + foin) ne se distinguant des autres que par la source de matières azotées.

TABLEAU I

Compositions et valeur nutritive des aliments concentrés

Aliments concentrés	Témoin		Pois		Lupin	
Source de MAT						
- essai 1 (1)	T. de soja 50		Frisson		Blanca	
- essai 2 (2)	T. de soja 50		Frimas		Blanca	
Composition physique (p.1000)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
- maïs	861	836	741	716	801	776
- protéagineux	80	80	200	200	140	140
- mélasse	-	20	-	20	-	20
- urée	9	9	9	9	9	9
- CMV	50	55	50	55	50	55
Composition chimique (p.1000 MS)						
- matière organique	837	859	845	855	846	846
- matières azotées totales	163	159	158	150	159	150
- cellulose brute	27	26	31	30	40	39
- matières grasses	41	40	40	39	48	47
Valeur nutritive						
- énergie brute (kcal/kg MS)	4273	4280	4293	4185	4321	4148
- énergie métabolisable (kcal) (*)	2983	2978	2950	2938	2950	2928
- énergie nette (UF/kg MS)	1,14	1,13	1,11	1,10	1,16	1,12
- solubilité de l'azote (calculée)	0,40	0,41	0,48	0,49	0,47	0,48
- PDI (g/kg MS) limitant	114	112	104	102	103	100
- MAD (g/kg MS)	141	133	135	126	130	121

(*) L'énergie métabolisable et l'énergie nette ont été calculées à partir des équations INRA 1978.

Deux variétés de pois d'hiver ont été utilisées, Frisson en 1979 (25,5 p.100 MAT/MS) et Frima en 1980 (24 p.100 MAT/MS) chacune provenant de la récolte de l'année précédente (INRA-VERSAILLES). Une seule variété de lupin doux (Blanca, 38,5 et 37,4 p.100 MAT/MS) provenant ainsi de 2 récoltes différentes (INRA-DIJON), a été employée. Ces graines entières ont été introduites aux taux indiqués au tableau I de manière à comparer des aliments isoénergétiques, isoazotés et équilibrés en PDI grâce à un apport d'urée. La teneur en matières azotées moyenne devait être de 16 p.100 MS et la teneur en PDI proche de 100 g/kg MS. En 1980, la mélasse a été utilisée pour assurer une meilleure tenue des aliments concentrés et la teneur des aliments concentrés en minéraux et oligoéléments a été augmentée. Par ailleurs, le foin était de meilleure qualité en 1980 (12 p.100 de MAT au lieu de 9,5 en 1979). Afin d'éviter la lithiase urinaire, du chlorure d'ammonium a été distribué, mélangé à l'aliment concentré, à raison de 1 p.100 de matière sèche ingérée.

Après une transition d'une semaine entre l'aliment concentré offert dès avant sevrage pour tous les agneaux et l'aliment expérimental, il a été fait en sorte que les animaux des lots ''Pois'' et ''Lupin'' ingèrent la même quantité d'aliment concentré que ceux du lot Témoin (dans la limite de 1 kg/j). Ainsi, la correction des quantités offertes aux lots expérimentaux a été faite, 1 à 2 fois par semaine. Les quantités d'aliments concentrés et de foin, offertes et refusées, ont été pesées chaque jour et la matière sèche a été déterminée sur un échantillon moyen de la semaine.

La pesée des agneaux a été réalisée tous les quinze jours et la veille de l'abattage. Les agneaux ont été abattus au fur et à mesure que leur poids commercial était atteint soit entre 37 et 40 kg. La pesée et le classement des carcasses ont été effectués dans les conditions habituelles de l'abattoir de la ville de Rennes.

Résultats et discussion

Les résultats obtenus pendant la période où tous les agneaux étaient présents, soit avant le premier abattage, (Période 1) sont rassemblés dans le tableau II. Les résultats généraux en fin d'essai, calculés en fonction du temps de présence de chaque agneau sont présentés au tableau III.

1. *Le comportement alimentaire des agneaux et les quantités ingérées n'ont pas été influencés par l'introduction du pois et du lupin.*

Pendant la phase d'adaptation à chaque aliment concentré, aucun phénomène d'inappétence n'a été observé et le développement de l'appétit a été semblable dans les trois lots, à l'exception cependant dans l'essai 2 des agneaux recevant l'aliment ''lupin''. Cette diminution des quantités ingérées, par ailleurs assez faible (3 à 4 p.100 par rapport aux 2 autres aliments), a déjà été observée chez l'agneau et chez le veau recevant un aliment concentré de composition voisine, contenant du lupin (TISSERAND, 1979-1980 ; GIOVANNI, 1980). Toutefois, cet appétit moins élevé en début d'essai n'a pas eu de répercussion sur l'appétit et sur les gains de poids vif de ce lot en fin d'essai.

Le niveau moyen de l'appétit pour les aliments concentrés est dû, certes, au mode de rationnement pratiqué mais aussi à la teneur en matières azotées (16 p.100/MS) utilisées dès le début des essais ; il a d'ailleurs été un peu plus faible en 1980 avec des aliments dont la teneur en MAT était proche de 15 p.100/MS, encore qu'une ingestion plus élevée de foin dans cet essai en soit probablement responsable. Avec des aliments plus riches en MAT (18 à 22 p.100/MS) et offerts à volonté jusqu'à la limite de 1 kg/jour et par agneau, TISSERAND (1977-1980) a observé un appétit supérieur ou égal à 800 g/j avec les aliments ''Soja'' alors que, simultanément mais dans la moitié des essais seulement, l'appétit était plus faible de 30 à 50 g/j notamment avec le lupin Blanca. L'appétit global ''foin + aliment concentré'' a cependant été peu variable dans les différents essais et selon les régimes (1000 à 1100 g/j)

2- *Les gains de poids vif des agneaux recevant les aliments ''Pois'' et ''Lupin'' ont été assez satisfaisants.*

Aucune différence significative n'est apparue entre les gains de poids vif des trois lots d'agneaux en fin de période initiale comme en fin d'essai. Toutefois les performances des lots ''Pois'' ont été plus faibles dans les deux essais, notamment pendant les quarante premiers jours de contrôle. Par ailleurs, à moins d'un trouble sanitaire sans signe clinique particulier, on ne peut expliquer le gain de poids vif peu élevé des agneaux ''Témoin'' de l'essai 1.

En ce qui concerne le pois, l'effet dépressif de 20 à 30 g/j observé en début d'essai est de même ordre que celui rencontré avant sevrage ou dès le sevrage chez des agneaux de race différente (Lacaune, Mérinos d'Arles, Préalpes du Sud) utilisés par les auteurs cités plus haut. Chez le veau après sevrage, un effet semblable a été observé bien que la digestibilité et la rétention de l'azote de l'aliment ''Pois'' soient identiques à celles de l'aliment ''Soja'' (de LAMOTTE, 1979 ; GUILHERMET *et al.*, 1981). Bien que la valeur nutritive des aliments concentrés soit assez proche, la qualité de l'énergie (dûe en partie au remplacement du maïs par du pois) et celle des PDI (déficience du mélange céréales + pois en acides aminés soufrés) pourraient être à l'origine de cet effet dépressif limité à une période critique du sevrage et du post-sevrage chez l'agneau et le veau. Néanmoins, il serait souhaitable de savoir si les hémaglutinines ou/et les facteurs antitrypsiques du pois d'hiver sont suffisamment dégradés dans le rumen pour ne pas avoir d'influence chez le jeune ruminant.

Avec le lupin doux Blanca, les gains de poids vif des agneaux ont été très semblables à ceux des agneaux recevant l'aliment ''Soja'' tant pour les mâles que pour les femelles, mais cependant moins homogènes avec le lupin, notamment dans l'essai 2. Ce niveau de croissance moyen de 250 g/j est aussi très voisin de ceux obtenus avec d'autres lupins comme ''Kali'' ou même ''Neuland'' plus riches en grains amers d'une part et utilisés d'autre part à des taux d'incorporation de 20 à 25 p.100 mais sans urée (PEREZ CUESTA, 1980 ; BOYER, 1980). Malgré une diminution plus ou moins grande des quantités ingérées d'aliment ''lupin'' dans nos essais ou dans les données de la bibliographie, les performances des agneaux ne semblent pas en être influencées pour autant avec des aliments dont la teneur en MAT est comprise entre 16 et 18 p.100. En revanche, avec des aliments plus riches en MAT (20 à 22 p.100/MS) les quantités ingérées et les gains de poids vif des agneaux consommant l'aliment ''lupin'' n'ont pas été améliorées alors que les performances des agneaux ''Témoin'' sont meilleures (820 à 860 g MS/j et 280 - 290 g/j) (TISSERAND, 1977-1978). Il apparait ainsi qu'à partir de 15 à 20 p.100 de lupin dans l'aliment concentré, l'appétit et la croissance des agneaux puissent être influencées, soit par la qualité de l'azote (solubilité réelle, équilibre PDI, rétention) soit par l'action antinutritionnelle de certains constituants (alcaloïdes, saponine, antitrypsiques) (HARASZII, JANOS, 1980) dans la mesure où ils seraient peu dégradés ou passeraient rapidement dans la muqueuse du rumen. L'utilisation de

TABLEAU II

Quantités ingérées et gains de poids vif avant le premier abattage
PERIODE 1

Régime	Essai	Témoin	Pois	Lupin
Animaux				
- essai 1 (49 j)		22	22	22
- essai 2 (41 j)		20	20	20
Quantités ingérées (g MS/j)				
- aliment concentré	1	717	720	723
	2	713	735	703
- foin graminées	1	150	155	153
	2	239	226	251
Gain de poids vif (g/j)				
- agneaux mâles	1	219 ± 82	239 ± 51	264 ± 26
	2	265 ± 67	238 ± 46	250 ± 84
- agneaux femelles	1	199 ± 16	185 ± 38	219 ± 55
	2	221 ± 57	200 ± 35	225 ± 56
- mâles + femelles	1	212 ± 69	217 ± 54	244 ± 46
	2	250 ± 66	217 ± 44	240 ± 77

TABLEAU III

Quantités ingérées, gain de poids vif et efficacité alimentaire pour l'ensemble de la période expérimentale
(Essai 1 : 90 j - Essai 2 : 83 j)

Régime	Essai	Témoin	Pois	Lupin
Effectif pondéré	1	16,6	17,5	17,5
	2	15,8	16,6	15,8
Quantités ingérées (g MS/j)				
- aliment concentré	1	746	763	780
	2	758	747	739
- foin de graminées	1	153	161	160
	2	259	252	252
Poids vif initial (kg)	1	21,4 ± 3,6	21,6 ± 3,5	21,5 ± 3,7
	2	20,5 ± 2,7	20,3 ± 3,0	20,5 ± 3,3
Poids vif à l'abattage (kg)	1	38,8 ± 2,2	38,8 ± 3,2	38,7 ± 3,0
	2	38,4 ± 1,6	37,8 ± 1,8	38,0 ± 1,7
Gain de poids vif (g/j)				
- agneaux mâles	1	233 ± 33	227 ± 47	245 ± 33
	2	255 ± 34	253 ± 43	258 ± 59
- agneaux femelles	1	192 ± 7	201 ± 45	185 ± 30
	2	225 ± 22	215 ± 30	230 ± 53
- mâles + femelles	1	220 ± 33	217 ± 47	220 ± 43
	2	244 ± 33	233 ± 40	250 ± 57
Poids de carcasse chaude (kg)	1	17,86 ± 1,48	17,88 ± 1,46	17,53 ± 1,39
	2	16,26 ± 0,91	16,59 ± 1,15	16,20 ± 1,01
Rendement commercial	1	45,7 ± 2,3	46,6 ± 2,4	45,8 ± 2,3
	2	42,3 ± 2,2	43,6 ± 2,2	42,6 ± 1,7
Qualité de carcasse				
- classées en R ou en O (p.100)	1	R 28	19	24
		O 72	81	76
	2	R 21	10	12
		O 79	90	88
Jours d'alimentation	1	1495	1547	1575
	2	1470	1540	1484
Efficacité alimentaire				
- kg gain/kg MS "aliment concentré"	1	0,274	0,299	0,297
	2	0,315	0,304	0,318
- kg gain/kg MAT de l'aliment concentré	1	1,68	1,89	1,87
	2	1,98	2,02	2,12
- kg gain/kg MST	1	0,227	0,247	0,246
	2	0,229	0,222	0,231

l'énergie du lupin ne semble pas être mise en cause ; d'une part les téguments de la graine, peu riches en lignine, assurent, même chez le porc, une bonne digestibilité de l'énergie (83,5 p.100) (BAILEY, 1974 ; TAVERNER, 1975 ; BOURDON, 1980) et d'autre part, toujours chez le porc, les alcaloïdes n'auraient pas d'influence sur l'utilisation de l'énergie (BOURDON, 1980).

3. *Les résultats à l'abattage sont assez indépendants du protéagineux utilisé*

Dans chaque essai, les poids vifs à l'abattage ont été identiques entre lots du fait même des modalités d'abattage définies au protocole et à la suite de gains de poids vif très

voisins, les poids de carcasse ont été aussi pratiquement égaux et très homogènes quelque soit la source de matières azotées. Néanmoins, l'écart moyen de 1,30 kg de carcasse entre les deux essais peut provenir aussi bien d'un effet ''année-animaux'' que d'une durée d'engraissement plus courte de 7 jours en 1980. Les rendements commerciaux en ont été aussi influencés (-3 points en 1980), effet probablement dû en partie aussi à des contenus digestifs plus importants venant du foin consommé en supplément. Par ailleurs, comme dans les résultats de TISSERAND (1977-1980), on observe un rendement un peu plus élevé avec les aliments ''Pois'', mais d'un point de vue qualitatif, il semble que les carcasses des agneaux recevant l'aliment ''Soja'' aient eu tendance à être mieux classées à chaque abattage. Aucune différence notable dans la conformation, la couverture ou la couleur du gras n'a pourtant été observée.

Pour un résultat d'abattage peu variable avec la source de protéines étudiée, le temps de présence des agneaux a toutefois été un peu plus long (2 à 4 jours en moyenne par agneau) avec le lupin et en particulier, avec le pois dans les 2 essais, mais sans conséquence sur l'efficacité alimentaire de l'aliment concentré et du régime.

A la suite de ces deux essais réalisés dans des conditions d'élevage voisines, 4 conclusions principales peuvent être retenues :

1. - L'efficacité des matières azotées du pois d'hiver et du lupin est semblable à celle du tourteau de soja, malgré une limitation volontaire des quantités ingérées d'aliment concentré par les agneaux. Le niveau moyen des gains de poids vif des agneaux provient en effet de cette limitation et non de la teneur de la ration en MAT (15 - 16 p.100 MS, avec l'apport du chlorure d'ammonium) (INRA, 1978).

2. - L'association d'un protéagineux, pois ou lupin, avec le maîs et l'urée permet d'équilibrer en PDI un aliment concentré simple et d'économiser les graines d'un protéagineux dont la production disponible reste encore limitée. Cette association permet en outre de ne pas dépasser 20 p.100 de pois ou de lupin dans l'aliment concentré.

3. - Si, dans ces limites, le lupin doux a donné satisfaction dès la mise en régime, l'utilisation du pois d'hiver a entraîné un léger effet dépressif des gains de poids en début d'engraissement. L'appétit des agneaux n'étant pas en cause, il serait souhaitable de savoir si cette réduction des performances, déjà signalée par d'autres auteurs (en particulier aux environs du sevrage), tient à la qualité de l'azote ou à l'activité des facteurs hémaglutinant ou antitrypsique du pois d'hiver dont on ne sait pas s'ils sont entièrement dégradés dans le rumen.

4. - La comparaison de ces résultats avec ceux de la bibliographie semble indiquer qu'au dessus de 20 p.100 de pois ou de lupin, l'appétit et les performances des agneaux peuvent être influencés. Si chez ces monogastriques, des problèmes d'appétit, de croissance ou d'état sanitaire apparaissent généralement au-dessus de 20 p.100 de protéagineux, on peut penser que chez le jeune ruminant, avec un même taux d'incorporation de protéagineux dans l'aliment concentré, l'influence possible des susbtances indésirables ou d'un déséquilibre des acides aminés indispensables est très réduite en raison des fermentations et des synthèses microbiennes du rumen, notamment après la période critique du sevrage. A ce stade en effet, la teneur en MAT de l'aliment concentré ne doit pas dépasser 18 p.100/MS et l'association d'un protéagineux avec une autres source de protéines permettra d'utiliser un aliment équilibré en PDI, en toute sécurité.

Remerciements

Nous tenons à remercier la Direction de la Production et des échanges du Ministère de l'Agriculture pour le soutien des études sur l'utilisation des protéagineux, Messieurs BERTHAUT, BLANCHON, COUSIN, LENOBLE et PICARD des Stations d'Amélioration des Plantes de Dijon, Lusignan et Versailles pour la fourniture des graines de protéagineux et Messieurs BOURDON et NOBLET de la Station de Recherches Porcines de Rennes-St-Gilles pour la détermination de l'énergie des aliments expérimentaux.

Références bibliographiques

BAILEY R.W., MILLS S.E., HOVE E.L., 1974, *J. Sci. Food Agric.*, **25** (8) 955-962

BOURDON D., PEREZ J.M., CALMES R., 1980. *Journées de la Recherche Porcine,* 12, 245-264

BOYER J.F., 1980. Mémoire E.N.S.B.A.N.A. Dijon

CASES J.P., VAN QUACKEBEKE E., 1976. *Journées de la Recherche ovine et caprine*

GIOVANNI R., 1975. Sciences Agronomiques Rennes, 171-181

GIOVANNI R., GUILHERMET R., *Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix,* **19**, 15-22

GIOVANNI R., 1980. Compte rendu annuel ''Protéagineux'' I.N.R.A

GIOVANNI R., GUILHERMET R., 1981. Publications sous presse

HARASZKI E., JANOS V., 1980. *Magyar Allatorvosok Lapja,* **35** (6) 374-379

I.N.R.A., 1978. *Alimentation des Ruminants,* 432-440, 490-495.

De LAMOTTE C.,1979. Mémoire E.N.S.A. Rennes

PEREZ CUESTA M., TIRADO SERRANO J., PEREZ HERNANDEZ M., 1980. *Archives de Zootechnica,* **29**, 113, 73-87

REYNE Y., GARAMBOIS X., 1975. *Journées de la recherche ovine caprine,* 384-391

TAVERNER M.R., 1975. *Anim. Prod.,* **20** (3), 413-420.

TISSERAND J.L., 1976. Compte rendu annuel ''Protéagineux'' I.N.R.A.
,, 1977. Compte rendu annuel ''Protéagineux'' I.N.R.A.
,, 1978. Compte rendu annuel ''Protéagineux'' I.N.R.A.
,, 1980. Compte rendu annuel ''Protéagineux'' I.N.R.A.

Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., 1981 (45) 43-50.

Elaboration des lipides corporels et valeur des carcasses des ruminants

B. AUROUSSEAU

Laboratoire d'Etude du Métabolisme Energétique

Introduction

Dans un premier article (3), nous avons vu que la quantité et la nature des lipides qui s'accumulent dans les carcasses des bovins et ovins, constituent des facteurs déterminants de leur valeur commerciale. Il est donc important de bien maîtriser ces paramètres et pour cela, il est nécessaire de connaître les mécanismes d'élaboration des lipides corporels de ces animaux et les facteurs qui en contrôlent la fixation dans ses orientations (nature des lipides tissulaires) et dans son intensité (quantités déposées dans chaque type de tissu).

Un des principaux facteurs mis en jeu est l'accumulation de lipides dans les muscles jusqu'à une limite de 3 à 5 p.100. L'âge des animaux et leur niveau d'alimentation sont les principaux facteurs mis en jeu. L'étude des liaisons entre ces deux paramètres a fait l'objet de travaux bien structurés et de mises au point récentes, tandis que les possibilités de mieux maîtriser le développement et la répartition des réserves lipidiques à l'intérieur de la carcasse par le jeu de la qualité des aliments sont encore assez peu explorées. Nous ne traiterons donc pas cet aspect du problème ici.

En revanche, de nombreux travaux ont été consacrés à l'étude des orientations du métabolisme lipidique des bovins ou ovins de boucherie. Cet ensemble de connaissances a fait l'objet de mises au point partielles concernant soit les mécanismes métaboliques (9 - 37 - 88), les liaisons entre l'alimentation des animaux et la composition de leurs lipides de réserve (20-44) ou encore l'examen des liaisons entre la nature des lipides tissulaires et les qualités des carcasses et des viandes (7 - 101 - 105). Une mise à jour des connaissances et une analyse plus synthétique paraissait utile. Nous nous proposons donc de rappeler ici les connaissances générales concernant les mécanismes métaboliques mis en jeu lors de la lipogénèse chez les ruminants avant de discuter des mécanismes et des implications des modifications des lipides corporels de ce type d'animaux en fonction de leur alimentation :

- enrichissement des tissus en acides gras polyinsaturés
- enrichissement des tissus en acides gras monoinsaturés
- enrichissement des tissus en acides gras ramifiés.

I - La lipogénèse des ruminants en croissance - aspects généraux

1) Origine des lipides corporels

Lipides endogènes (synthétisés dans l'organisme)

La majeure partie des acides gras déposés dans les tissus du ruminant sont synthétisés dans leur organisme. Les acides gras volatils (acide acétique en particulier) produits lors de la fermentation des glucides alimentaires sous l'action des microorganismes du rumen (fig. 1), sont les principaux précurseurs utilisés pour ces synthèses préférentiellement effectuées au niveau des tissus adipeux (9-63).

Lipides exogènes (absorbés à partir de la lumière du tractus digestif)

Une partie des acides gras qui se déposent dans la carcasse des animaux a une origine alimentaire. Les lipides apportés par la ration de base des ruminants (herbe, ensilage, fourrages grossiers) ou par les concentrés qui la complètent (graines, tourteaux) comportent des proportions importantes d'acides gras polyinsaturés (60). Après libération sous l'action des lipases bactériennes (55-81), ceux-ci sont transformés, principalement en acides gras saturés (fig. 1) par l'hydrogénation au voisinage des particules d'aliments les plus fines en suspension dans le rumen (53-54).

En outre, les microorganismes du rumen sont susceptibles de procéder à des synthèses plus ou moins actives d'acides gras (fig. 1) : 10 à 25 g A.G./kg matière organique selon la richesse des rations en concentrés (12-86-87-115).

Les acides gras exogènes sont absorbés dans l'intestin et

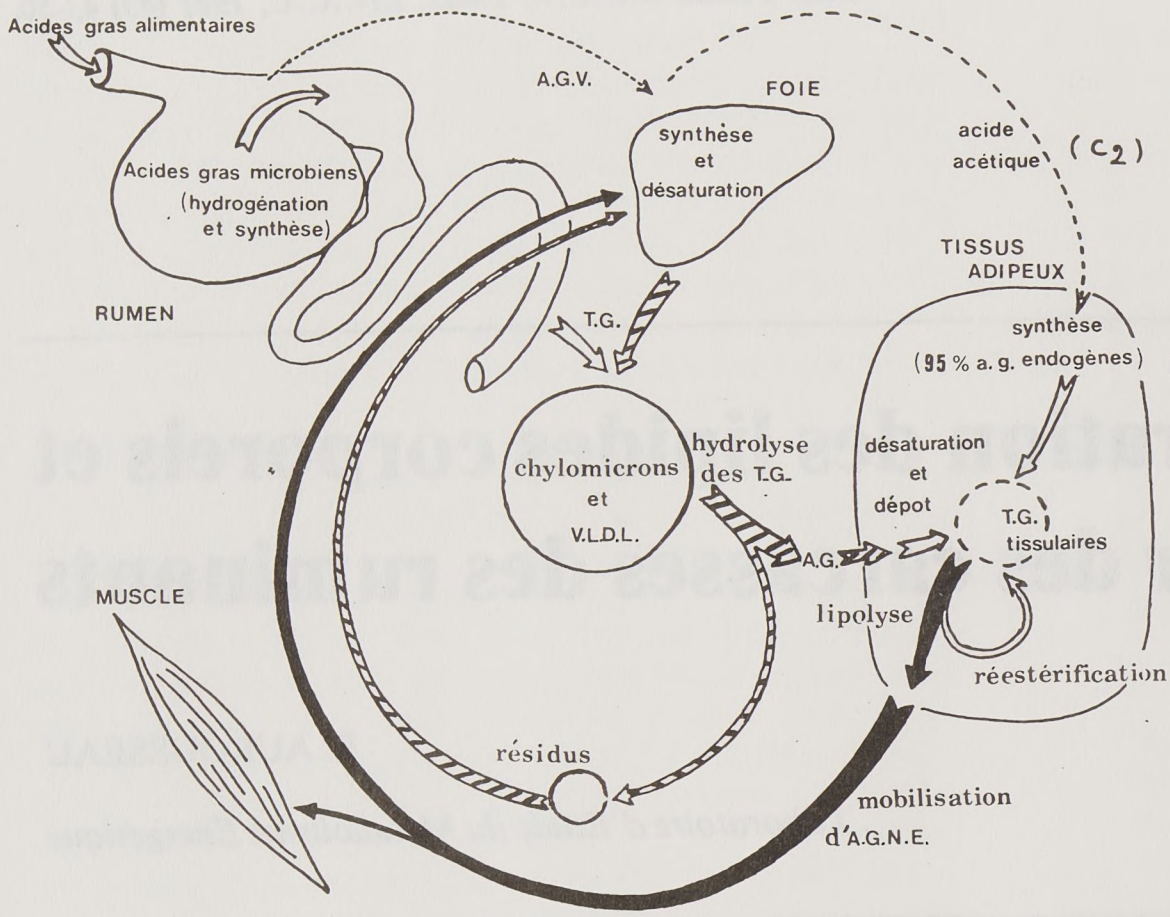


FIG. 1 : *Schéma des principales étapes de l'élaboration des lipides de réserve corporels chez les ruminants (AGV = acides gras volatils ; AGNE = acides gras non estérifiés ; TG = triglycérides ; VLDL = lipo-protéines de très faible densité).*

véhiculés jusqu'au sang, avec des acides gras endogènes, par voie lymphatique par les chylomicrons et les VLDL intestinales.

2) Etat dynamique des lipides dans l'organisme

Intensité des remaniements

Comme l'ensemble des matériaux tissulaires et en particulier les protéines (1-79), les lipides corporels sont dans un état de perpétuel renouvellement, plus ou moins rapide, caractéristique des êtres vivants. Chez une vache laitière forte productrice (5-38-89), les quantités d'acides gras libérés par les tissus adipeux représentent le 1/3 en moyenne (12,5 Mcal environ) et peuvent être accrues jusqu'à 80 p.100 de l'énergie métabolisable ingérée, une part importante (7,5 Mcal environ) étant recyclée vers les tissus adipeux après remaniement au niveau du foie.

Chez la souris adulte à l'entretien (107), la quantité d'acides gras synthétisés chaque jour représente deux fois ses besoins en énergie soit environ le quart de ses réserves corporelles. Les données concernant les animaux en croissance sont plus fragmentaires mais l'importance des remaniements semble encore plus grande que chez les animaux adultes.

L'élaboration des réserves de triglycérides dépend donc de l'équilibre entre la fixation et la production d'acides gras par les tissus.

Mécanismes des remaniements

Outre les acides gras synthétisés *in situ*, les tissus adipeux, siège principal du stockage de réserves lipidiques, captent des acides gras à partir des lipoprotéines circulantes (chylomicrons, VLDL intestinales et hépatiques) après hydrolyse des triglycérides transportés (fig. 1). Les résidus d'attaque des différentes particules, constitués essentiellement de protéines, de phospholipides et d'esters de cholestérol sont alors acheminés vers le foie et captés par cet organe.

Par ailleurs, les tissus adipeux libèrent des acides gras sous forme libre par hydrolyse de leurs triglycérides (lipolyse). Une partie est directement réestérifiée *in situ* (fig. 1) et une partie est exportée vers le sang et circule sous forme non estérifiée liée à l'albumine. Ils sont captés principalement au niveau du foie et du muscle et en partie dégradés en gaz carbonique et en eau (catabolisme oxydatif) assurant ainsi la fourniture d'énergie pour le fonctionnement de l'organisme, et en partie réutilisés et incorporés aux lipides tissulaires (cas du muscle) ou, après remaniement, (cas du foie) réexportés dans le sang avec des lipides endogènes (acides gras, cholestérol) sous forme de lipoprotéines (VLDL hépatiques).

3) Remaniements corporels et composition en acides gras des lipides tissulaires

Au cours des étapes successives de l'élaboration des lipides de réserve (cf. figure 1), les différents types d'acides gras ne seraient pas métabolisés de façon identique. Les variations d'intensité relative de chacune d'elles vont donc modifier la composition des lipides déposés dans les tissus. Les observations sont en général obtenues chez les monogastriques et des études précisant les phénomènes chez les ruminants seraient nécessaires pour mieux comprendre les phénomènes et chercher à les maîtriser.

Dérivation des acides gras

La synthèse d'acides gras dans l'organisme conduit à l'obtention d'acide palmitique (C16 : 0). Ce composé peut être transformé par *élongation* en acide stéarique (C18 : 0).

Les acides gras saturés peuvent être convertis par *désaturation* en acides gras monoinsaturés, acide palmitoléique (C16 : 1) ou oléique (C18 : 1). La désaturation des acides gras nouvellement synthétisés semble chez les ovins plus active au niveau du foie qu'au niveau des tissus adipeux (95-122). Mais dans le cas des acides gras exogènes, les résultats sont contradictoires : selon les auteurs, le foie serait peu actif (122) ou serait plus actif que le tissu adipeux (25) tandis que des résultats contradictoires peuvent être obtenus par une même

équipe (95-96). La régulation du phénomène chez les ruminants n'a pas été étudiée, mais chez les monogastriques, l'insuline augmente l'intensité des désaturations (46).

Remobilisation sélective des acides gras

Lors de la lipolyse des réserves triglycéridiques, les acides gras insaturés sont susceptibles d'être réestérifiés plus rapidement que les acides gras saturés (20). Le phénomène, sensible au repos (lipolyse basale) pourrait être renforcé lorsque la libération des acides gras est inhibée (4), ce qui pourrait expliquer que le degré de saturation des acides gras circulants sous forme non estérifiée est, le plus souvent, supérieur à celui des triglycérides d'origine (69-125). Le phénomène est observé en particulier en période postprandiale chez le veau préruminant (6-7-8). Il semble s'estomper lorsque l'intensité de la lipolyse augmente et disparaît lorsqu'elle est fortement accélérée (4).

Captation sélective des acides gras

Le muscle capterait de façon non sélective les acides gras non estérifiés du plasma, mais le foie capte de façon particulièrement efficace les acides gras à chaîne courte et moyenne (C3 : 0 à C14 : 0), moins activement les acides palmitique (C16 : 0) et oléique (C18 : 1) et encore moins efficacement l'acide stéarique (C 18 : 0) et les acides gras polyinsaturés (51-114).

Utilisation métabolique des acides gras

Le sort des différentes catégories d'acides gras après leur captation par les tissus varie selon la nature de leur chaîne. Les acides gras insaturés sont plus rapidement dégradés en CO_2 et en eau par catabolisme oxydatif que les acides gras saturés (13-94). Mais ces derniers sont en partie soumis à la désaturation avant d'être utilisés et le bilan dépend des intensités de chacun des deux phénomènes.

Synthèse d'acides gras ramifiés

Lors de la synthèse des acides gras endogènes, des unités malonylcoenzyme A dérivées de l'acide acétique après activation et carboxylation sont utilisées pour l'élongation des chaînes acétyl -ou acyl- de longueur intermédiaire jusqu'à l'obtention de l'acide palmitique. Cependant, les systèmes enzymatiques sont susceptibles d'utiliser en remplacement un autre composé si celui-ci leur est fourni : il s'agit de l'acide méthylmalonylcoenzyme A, composé porteur d'une ramification-CH_3, intermédiaire du métabolisme de l'acide propionique. Dans ce cas on aboutit à la production d'acides gras ramifiés dont le point de fusion est inférieur à celui des acides gras saturés.

II - Alimentation et orientation de la lipogénèse chez les ruminants en croissance

1) Enrichissement des lipides corporels du ruminant en acides gras polyinsaturés

Implications du phénomène

Sous l'angle de la valeur nutritionnelle des aliments destinés à l'homme, l'accroissement des proportions d'acides gras polyinsaturés dans les lipides des viandes paraît souhaitable et a retenu l'attention des chercheurs. Cependant, d'une manière générale, chez les bovins et les ovins, l'accroissement des proportions d'acides gras polyinsaturés dans les lipides des viandes en diminue la flaveur ou la tendreté (29-31-42-92-93). De nouvelles flaveurs non désirables peuvent se développer si les apports sont très importants (90-91). Par ailleurs, les acides gras polyinsaturés se concentrent en particulier au niveau des phospholipides et on ne connait pas suffisamment les implications des variations de leur concentration à ce niveau pour la conservation des produits (19-62-68). La maitrise du phénomène garde donc, potentiellement, un intérêt certain.

Variations de l'hydrogénation au niveau du rumen

Les acides gras polyinsaturés sont efficacement hydrogénés au niveau du rumen (55-80). Néanmoins, les microorganismes qui se développent dans cet organe incorporent des acides gras polyinsaturés à leurs lipides de structure (48-127). Dans le cas d'aliment comportant une proportion élevée de concentrés, ce phénomène peut prendre une importance non négligeable (77), 32 % de l'acide linoléique alimentaire échappant dans de telles conditions à l'hydrogénation. Les acides gras polyinsaturés ainsi protégés peuvent alors se fixer dans les tissus (tableau 1). Le phénomène assez peu sensible chez les bovins (33-61) est beaucoup mieux marqué chez les ovins (23-42-47-52-67).

Enrichissement des tissus en acides gras polyinsaturés avant sevrage

On peut envisager d'augmenter la teneur en ce type de composés dans les tissus des ruminants indirectement en distribuant aux animaux avant sevrage des laits riches en acides gras polyinsaturés (130). Selon ces auteurs 7 semaines après le sevrage, les tissus adipeux sous-cutanés restent notablement plus riches en acides gras polyinsaturés que ceux des animaux témoins tandis qu'au niveau musculaire, seuls les muscles à développement précoce de l'avant montrent une teneur accrue (+ 9 points) la composition des muscles à développement tardif de l'arrière n'étant pas modifiée.

Protection des lipides alimentaires

Enfin, des méthodes de protection des lipides alimentaires ont été mises au point (40-107). Chez les ovins (figure 2a), les tissus s'enrichissent rapidement en acides gras polyinsaturés lorsque ceux-ci sont ingérés sous forme protégée, de façon plus rapide chez des agneaux de 6 mois que chez des moutons adultes de 4 ans (93). Chez des jeunes bovins de 9 mois (26-40), les teneurs en acides gras polyinsaturés des tissus sont accrues dans les mêmes conditions plus rapidement que chez les ovins, l'évolution des teneurs en ces composés au niveau des triglycérides intramusculaires ou des tissus adipeux sous-cutanés était du même ordre qu'au niveau des phospholipides musculaires (figure 2b). Il convient, cependant, de noter d'une manière générale, que l'appétit des ruminants, ovins ou bovins, est diminué par la présence des lipides protégés (32-130) et les croissances des animaux, en conséquence, ralenties.

2) Enrichissement des lipides corporels du Ruminant en acides gras monoinsaturés

TABLEAU I

Influence du type d'aliments sur l'accumulation d'acide linoléique C18:2 (n-6) dans les lipides corporels des ruminants

ESPECE ANIMALE	AUTEURS	TYPE D'ALIMENT	TENEUR EN C18:2
OVINS	JOHNSON et Mc CLURE, 1972 (67)	Fourrages grossiers	3,3
		Fourrages grossiers + Lipides *	7,8
	CLARKE et al, 1977 (23)	Luzerne	3,4
		Luzerne + Lipides **	4,2
		Orge	5,9
		Orge + Lipides **	13,7
	FIELD et al, 1978 (42)	Luzerne/maïs (60/38)	4,4
		Luzerne/maïs (11/80)	7,4
BOVINS	DRYDEN et al, 1973 (33)	Foin/concentré (25/75)	1,9
		Foin/concentré/lipides (23/71/6)***	3,4
	HOLZER et al, 1976 (61)	Fourrage témoin (90 % MS)	2,8
		Fourrage réhumidifié (50 % MS)	4,0
		Fourrage réhumidifié (25 % MS)	4,4

* mélange d'huile végétale et d'huile animale partiellement hydrogénée (12 % C18:2)

** huile de maïs

*** huile de carthamme

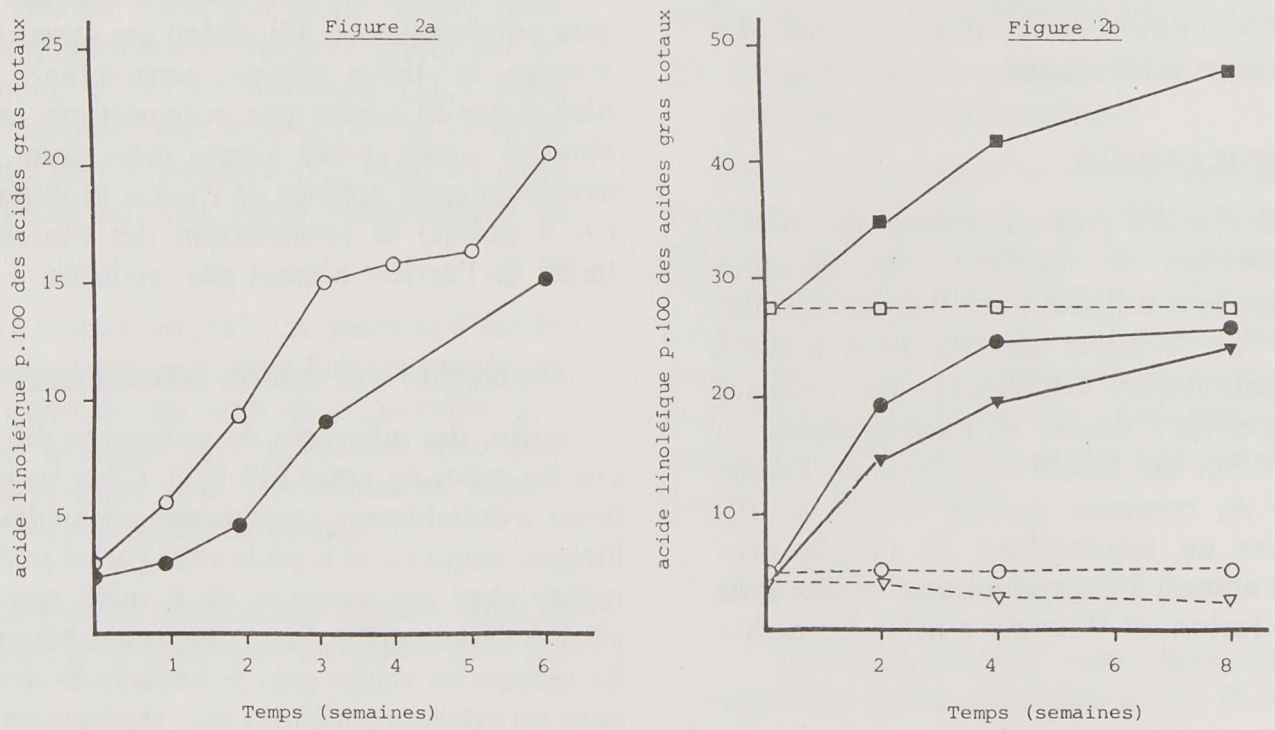


FIG. 2 : *Influence de l'ingestion d'acides gras polyinsaturés protégés sur la teneur en acide linoléïque des lipides corporels chez les ruminants.*

- Figure 2a : *Ingestion d'huile de tournesol protégée chez les ovins (○ = agneaux de 6 mois, PARK et al., 1975 ; ● = agneaux de 4 ans, PARK et al., 1978) (références 90-92)*

- Figure 2b : *Ingestion d'huile de carthame protégée chez les bovins, FAICHNEY et al., 1972 (- - - - - - -: pas de supplémentation ; motifs pleins : supplémentation en huile de carthane ; △▲ : TG sous-cutanés ; ○● : TG intramusculaires ; □■ ; PL intramusculaires). (référence n°39)*

Implications du phénomène

L'influence des proportions d'acides gras monoinsaturés dans les lipides de réserve sur la valeur commerciale des carcasses et des viandes dépend de l'espèce considérée.

a) Chez les bovins en général, les viandes les plus riches en acides gras monoinsaturés présentent les meilleures qualités organoleptiques (15-17-43-101-105-116-126). On peut noter à cet égard que, souvent, l'accroissement des proportions d'acides gras monoinsaturés dans les lipides tissulaires est lié à un accroissement des teneurs en lipides des tissus (58-59-72-73). Cependant, les observations restent insuffisantes et quelques études ne révèlent aucune liaison entre la teneur en acides gras monoinsaturés des viandes et leurs qualités organoleptiques (31-113).

b) Chez les ovins le problème semble plus complexe. Des arômes désagréables se développent dans les viandes issues de carcasses présentant des tissus adipeux sous-cutanés de consistance molle (18-28-71-109), la diminution de fermeté des tissus adipeux étant le plus souvent liée à une augmentation de leurs teneurs en eau et en acides gras monoinsaturés (64-117). Cependant, les travaux relatifs à l'étude directe de l'influence de la composition des lipides intra-musculaires sur les qualités organoleptiques des viandes conduisent à des observations contradictoires. L'accumulation d'acides gras monoinsaturés dans le muscle peut se révéler sans effet ou peut se montrer en fonction des aliments employés (42) favorable (avec du foin de luzerne supplémenté avec du maïs) ou néfaste (avec de l'ensilage de maïs supplémenté avec du maïs grain). Il demeure néanmoins, que les augmentations du degré de saturation des lipides corporels peuvent être très importantes chez les ovins car les plans musculaires glissent les uns par rapport aux autres lors de la découpe et les pièces obtenues sont molles et se déforment, ce qui déprécie leur valeur commerciale.

Influence de la localisation anatomique

La première cause de variation du degré de saturation des lipides corporels des ruminants est leur localisation anatomique aussi bien dans le cas des bovins (22-24-43-70-87-123) que dans le cas des ovins (21-34-74-88-131). Les tissus adipeux internes sont les plus saturés et les tissus adipeux externes les moins saturés, ceux du muscle présentant un degré de saturation intermédiaire (tableaux 2 et 3). Par ailleurs, les tissus adipeux sous-cutanés (tissus externes) ne présentent pas une composition homogène, ceux des parties antérieures du corps des animaux étant moins insaturés que ceux des parties postérieures, et les plus insaturés étant ceux des membres (tableau 3). On peut mettre ces observations en rapport avec le fait que les tissus adipeux présentent des activités métaboliques variables en fonction de leur localisation. Ainsi, la synthèse *de novo* serait, chez un agneau de 35 kg, environ deux fois plus intense dans les tissus adipeux internes comparés aux tissus adipeux sous-cutanés (62). La situation serait inversée chez les bovins (63-97). La localisation des tissus adipeux sous-cutanés ne semble pas affecter de façon importante l'intensité de la lipogénèse *de novo* chez les ovins alors que chez les bovins, ceux situés au niveau de l'épaule et, surtout, de l'abdomen seraient beaucoup plus actifs que ceux situés au niveau du dos ou de la croupe (63).

Par ailleurs, l'intensité de captation d'acides gras à partir des triglycérides circulants serait chez les ovins (57) maximale au niveau des tissus adipeux sous-cutanés, moitié moins importante au niveau des tissus adipeux intermusculaires et 20 fois moins importante au niveau des tissus adipeux internes.

TABLEAU II

Comparaison de la composition en acides gras des triglycérides des tissus adipeux périrenaux (A) ou sous cutanés (B) à ceux du muscle (C) chez des veaux préruminants ou des bovins adultes

	VEAUX PRERUMINANTS (1)			BOVINS ADULTES (2)		
	A	B	C	A	B	C
C14,0	6,1	5,9	4,7	3,3	3,3	3,0
C16:0	22,8	21,8	21,7	28,1	27,3	29,0
C18:0	25,5	15,8	16,2	26,3	11,3	14,8
C18:1	33,8	41,9	37,9	36,9	48,4	45,5

(1) AUROUSSEAU (non publié) (2) WALDMAN et al, 1968 (123)

TABLEAU III

Comparaison de la composition en acides gras des triglycérides des tissus adipeux périrenaux (A) ou sous-cutanés (B) à ceux du muscle (C) chez l'agneau de boucherie

SOURCE DES DONNES	DUNCAN et GARTON, 1967 (34)				AUROUSSEAU et al, 1972 (2)	
	A	B			B	C
		(a)	(b)	(c)	(b)	
C14:0	2,4	2,3	2,2	0,9	1,5	1,9
C16:0	25,6	24,5	24,3	17,0	21,0	21,6
C18:0	37,4	20,7	11,1	3,0	7,7	13,8
C18:1	29,5	42,6	50,4	69,2	46,7	47,1

(a) au niveau de la poitrine ; (b) au niveau de la croupe ; (c) au niveau des pattes

Chez les bovins, elle serait sensiblement moins élevée au niveau des tissus adipeux sous-cutanés, quelle que soit leur localisation anatomique, qu'au niveau des tissus adipeux internes (100).

Enfin, la composition des lipides tissulaires dépend aussi de l'intensité de la lipolyse. Chez les bovins (97), elle est plus faible au niveau des tissus adipeux internes qu'au niveau des tissus adipeux sous-cutanés.

Influence de l'âge

Une seconde cause de variation du degré de saturation des lipides de réserve du Ruminant peut être l'âge des animaux (figure 3). Le phénomène très net semble atteindre une limite au cours de la croissance des animaux (14-123). Chez les ovins, il augmente pendant le 1er mois de la vie des animaux (75) et reste le plus souvent stable par la suite (2-30-118). Il peut, exceptionnellement, augmenter jusqu'à ce que les animaux atteignent un poids de 35 kg (2) à 45 kg (64).

Ces variations peuvent être liées à l'intensité de la lipogénèse des tissus qui, en dehors de toute stimulation nutritionnelle ou physiologique, se ralentit régulièrement avec l'âge des animaux dans le cas des tissus adipeux sous-cutanés ou inter-musculaires, chez les ovins (63) aussi bien que chez les bovins (98). La diminution d'intensité de la lipogénèse au niveau des tissus adipeux internes est très rapide vers un poids de 50 kg pour les ovins (63) ou de 300 kg pour les bovins (97).

Par ailleurs, les intensités de la lipolyse augmentent régulièrement avec l'âge chez les ovins (112). Chez les bovins, la lipolyse basale s'accroît de même, mais plus lentement, avec l'âge des animaux (98) ; chez les animaux les plus jeunes, elle est nettement moins intense au niveau des tissus adipeux internes et, chez les animaux les plus âgés aucune différence d'intensité n'est observée entre les différents tissus adipeux. Sous l'effet des catécholamines (agents stimulant la lipolyse lors du jeûne ou dans divers états physiologiques) la lipolyse deux fois seulement plus intense dans le cas des ovins est considérablement accrue (5 à 6 fois pour les tissus adipeux sous-cutanés ou jusqu'à 10 fois pour les tissus adipeux internes) chez les jeunes bovins et présente un maximum d'intensité pour des animaux de 200 à 300 kg ; chez les animaux les plus lourds, la stimulation n'est plus que de 50 % au niveau des tissus adipeux sous-cutanés et de 15 % seulement au niveau des tissus internes.

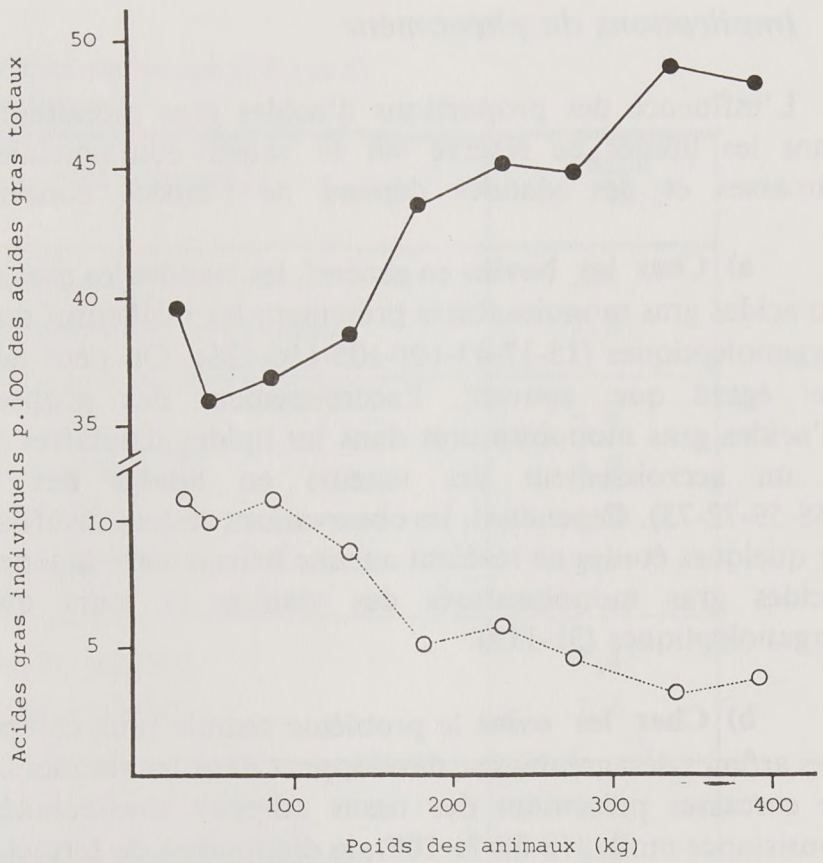


FIG. 3 : *Evolution avec l'âge de la teneur en acide oléique (●) ou en acide linoléique (○) des triglycérides de réserve chez le bovin (selon HECKER et al., 1975, référence n°59)*

Influence de l'alimentation

La troisième origine, la plus efficace, de l'augmentation des proportions d'acides gras monoinsaturés dans les lipides corporels des ruminants en croissance est liée à la nature de l'alimention. Aussi bien chez les bovins (104) que chez les ovins (27), les proportions d'acides gras monoinsaturés varient ainsi au cours de l'année. Cependant, les phénomènes les plus importants (tableau 4) sont observés dans le cas d'agneaux nourris sur des parcours de légumineuses (28-90-91-111) ou dans le cas d'agneaux (35-56-71-78-109-117-119-130) ou de bouvillons (70) nourris de façon intensive et ingérant des rations riches en concentrés.

TABLEAU IV

Effet de la nature de l'alimentation sur les proportions d'acides gras monoinsaturés dans les lipides de réserve de la carcasse des animaux ruminants en croissance

ACIDES GRAS	BOVINS (LEAT, 1977)				OVINS (ZIEGLER et al, 1967)			
	Lipides sous-cutanés		Lipides intra-musculaires		Lipides sous-cutanés		Lipides intra-musculaires	
	A	B	A	B	A	B	A	B
C16:0	26,0	23,9	31,6	27,6	29,3	27,6	29,2	29,8
C16:1	9,4	10,6	4,3	4,9	2,7	2,9	3,3	3,7
C18:0	8,2	6,9	18,9	13,5	16,5	12,5	11,1	8,6
C18:1	44,7	48,5	36,6	44,1	42,7	48,3	47,2	46,5
C18:2	2,1	1,5	1,2	1,3	1,7	2,0	2,9	4,0

A = alimentation riche en fourrages grossiers B = alimentation riche en concentrés

Dans la plupart des cas, les fermentations du rumen sont orientées vers l'accroissement des proportions d'acide propionique (45-66-84). De plus, la sécrétion d'insuline est stimulée par de tels régimes (11) avec pour effet, une stimulation de la lipogénèse (5-75-105). Par ailleurs, la lipolyse des lipides de réserve est plus intense (112) tandis que la captation par les tissus adipeux d'acides gras à partir des triglycérides circulants est également accrue. L'augmentation d'intensité de toutes ces étapes du métabolisme semble comme nous l'avons vu ci-dessus (Ch. I, 2) susceptible de rendre compte de l'augmentation des proportions d'acides gras insaturés dans les tissus, mais des mesures complémentaires de nature à déterminer avec plus de précision le rôle de chacune des étapes du métabolisme mises en jeu sont nécessaires pour rechercher une meilleure maîtrise des phénomènes. Ces remaniements sont vraisemblablement aussi à l'origine de l'augmentation de la teneur en eau des tissus adipeux observée en parallèle (2-64-117). Un dernier facteur favorisant l'accumulation d'acides gras monoinsaturés dans les lipides de réserve de l'agneau a été mis en évidence : l'utilisation de laits de remplacement reconstitués avec du suif, de l'huile de palme, de la tricapryline ou de la tricaproïne, en comparaison avec du lait de brebis ou des laits de remplacement reconstitués avec de l'huile du coprah, peuvent induire des effets à long terme en ce sens (2 ; résultats non publiés). Dans les 3 premiers cas, les tissus adipeux obtenus sont également plus riches en eau tandis qu'avec la tricaproïne on n'observe pas ce phénomène : l'accumulation d'acides gras monoinsaturés dans les tissus adipeux pourrait faire appel à dfférents mécanismes et des études plus approfondies demeurent nécessaires.

3) Enrichissement des lipides corporels du Ruminant en acides gras ramifiés

Un des facteurs responsables de l'apparition de flaveurs désagréables dans la viande de mouton semble être l'accumulation d'acides gras à chaîne moyenne ramifiés ou monoinsaturés (129). Ce type d'acides gras est caractéristique des bactéries du rumen (120-121-128) et de certains protozoaires (39). Cependant, leur dépôt dans la carcasse des animaux après digestion des lipides bactériens reste limité (44-52-110).

L'accumulation d'acides gras ramifiés dans les limites de réserve des animaux avec pour conséquence immédiate la baisse de fermeté des tissus adipeux (tableau 5) est principalement observée chez les ovins (7-8-84 ; AUROUSSEAU *et al.*, résultats non publiés) dans le cas de rations riches en concentrés, orientant les fermentations du rumen vers la production d'un mélange d'acides gras volatils riches en acide propionique. Lors de l'utilisation de l'acide propionique par le foie à des fins de néoglucogénèse, les possibilités de conversion de l'acide méthylmalonique en acide succinique sont saturées et le premier composé s'accumule, est émis dans le sang et utilisé pour la synthèse d'acides gras ramifiés endogènes (35-45-84). Le broyage des céréales semble en grande partie responsable de l'accroissement des proportions d'acide propionique produit dans le rumen et de l'accumulation dans les tissus d'acides gras ramifiés. Bien que la synthèse d'acide gras ramifiés à partir d'acide méthylmalonique soit un mécanisme parfaitement fonctionnel au niveau des tissus chez les bovins (123), ces animaux placés dans les mêmes conditions que les ovins n'accumulent pas d'acides gras ramifiés dans leurs tissus (37-70). Par ailleurs, chez les ovins, on peut observer l'accumulation d'acides gras ramifiés en réponse indirecte à des orientations du métabolisme lipidique induites par la nature de l'aliment offert avant sevrage : l'utilisation d'un lait enrichi en tricapryline conduit au moment de l'abattage à l'accumulation d'acides gras ramifiés dans les réserves lipidiques (AUROUSSEAU et al, observations non publiées).

TABLEAU V

Quelques exemples d'accumulation d'acides gras ramifiés dans les lipides corporels de l'agneau de boucherie

AUTEURS	ALIMENTS	NATURE DES ACIDES GRAS				
		C16 : 0	C18 : 0	C18 : 1	C18 : 2	AG RAMIFIES
GARTON et al, 1972 (45)	Aliment "acétique" *	25,4	12,8	42,1	3,9	2,6
	Aliment "propionique" *	18,2	10,0	41,6	4,2	11,8
DUNCAN et al, 1974 (36)	Orge broyée	28,1	9,2	45,7	4,5	5,8
	Orge grains	24,6	8,8	45,0	5,3	3,9
ØRSKOV et al, 1975 (84)	Orge grains	**	8,3	43,1	4,1	9,1
	Avoine grains	**	17,8	48,2	3,0	3,2
AUROUSSEAU, THERIEZ et VERMOREL (non publié)	(1)	22,1	13,5	41,1	5,5	8,0
	(2) ***	18,8	10,5	42,4	5,8	10,5
	(3)	19,5	9,8	41,9	5,0	11,3

* Infusion directe d'acide acétique ou d'acide propionique dans le rumen.

** Non indiqué par les auteurs (aucune différence entre traitement)

*** Animaux ayant reçu le même aliment après sevrage ; (1) recevant jusqu'au sevrage un aliment d'allaitement de remplacement conventionnel à base de suif, (2) et (3) recevant jusqu'au sevrage un aliment d'allaitement comportant 8 % (2) ou 16 % (3) de tricapryline.

Conclusion

Une teneur en lipides des muscles suffisante (3 à 4 %) est la principale condition à l'obtention de qualités organoleptiques satisfaisantes. Les facteurs mis en jeu sont l'âge des animaux (58-72) ou l'intensification de leur alimentation (10-15-65-102-105). Cependant, d'autres facteurs interviennent pour déterminer la qualité des carcasses et des viandes. Dans la pratique, la nature des aliments offerts aux ruminants en croissance conduisent, en effet, à des modifications de la composition des lipides de réserves de ces animaux et à des modifications des qualités des carcasses et des viandes. Les effets les plus notables ont été observés dans le cas d'ovins nourris sur des parcours de légumineuses ou recevant des rations riches en concentré. Les carcasses ou les viandes produites dans ces conditions présentent des défauts de présentation, de tendreté ou de flaveur. Les modifications de composition des lipides corporels mises en jeu sont des augmentations des proportions d'acides gras polyinsaturés, d'acides monoinsaturés ou d'acides gras ramifiés ; des augmentations des teneurs en eau des tissus adipeux sont observées en parallèle. Certaines de ces modifications proviennent de l'incorporation aux lipides des micro-organismes du rumen d'acides gras insaturés qui échappent ainsi à l'hydrogénation et les autres sont liées à l'orientation des fermentations du rumen vers une production accrue d'acide propionique et aux conséquences pour le métabolisme des animaux : stimulation de l'intensité des synthèses et des remaniements d'une part, ou utilisation d'acide méthylmalonique pour la synthèse d'acides gras ramifiés d'autre part. Les connaissances actuelles restent insuffisantes pour maîtriser la lipogénèse des animaux nourris dans ces conditions mais les résultats intéressants obtenus avec la distribution de céréales sous forme de grains entiers (85) ou dans le cas d'agneaux nourris sous la mère (2) soulignent l'intérêt d'approfondir le sujet. La mesure de l'intensité des différentes étapes du métabolisme lipidique (synthèse des acides gras saturés ou ramifiés, dérivation en monoinsaturés, échanges entre les organes) est un outil indispensable à l'évaluation des différents facteurs de contrôle de la lipogénèse et à l'obtention de réponse aux problèmes pratiques rencontrés.

Références bibliographiques

(2) AUROUSSEAU B., THERIEZ M., DANIEL M., 1973. Influence de la nature des matières grasses incorporées dans l'aliment d'allaitement sur le métabolisme lipidique de l'Agneau de boucherie. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, **13**, 93-105.

(3) AUROUSSEAU B., 1979. Influence de la nature des lipides tissulaires sur la qualité des carcasses et des viandes des ruminants. *Bull. Tech. CRZV Theix*, INRA, **38**, 27-34.

(5) BALDWIN R.L., YANG Y.T., CRIST K., GRICHTING G., 1976. Theoretical model of ruminant adipose tissue metabolism in relation to the whole animal. *Fed. Proc.*, **35**, 2314-2318.

(20) CHRISTIE W.W., 1978. The composition, structure and function of lipids in the tissues of ruminants animals. *Prog. Lip. Res.* **(17)**, 111-205.

(70) LEAT W.M.F., 1977. Depôt fatty acids of Aberdeen Angus and Friesian cattle reared on hop and barley diets. *J. Agric. Sci.*, **89**, 575-582.

(80) MOLENAT G., THERIEZ M., 1973. Influence du mode d'élevage sur la qualité des carcasses de l'Agneau de bergerie. Etude des effets de l'allaitement artificiel et des régimes entièrement condensés sur la qualité des dépôts adipeux de couverture. *Ann. Zootech.*, **22**, 279-293.

(85) ORSKOV E.R., DUNCAN W.R.H., CARNIE C.A., 1975. Cereal processing and food utilization by sheeps. 3. The effects of replacing whole barley by whole oats food utilization and fimmers and composition of subscutaneous fat. *Anim. Prod.*, **21**, 51-58.

(121) WAHLE K.W.J., 1974. Desaturation of long-chain fatty acids by tissue preparations of the sheeps, rat and chicken. *Comp. Biochem. Physiol.*, **48**, 87-105.

NB : La liste complète des références est disponible au Laboratoire d'Etude du Métabolisme Energétique CRZV Theix - 63110 BEAUMONT

Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1981 (45) 51-55

SECTION III

Microbiologie du rumen

J.P. JOUANY

Laboratoire de la digestion des ruminants

Le ruminant possède plusieurs compartiments digestifs placés avant l'estomac (caillette). Ce sont le rumen (ou panse), le réseau (ou bonnet) et le feuillet. Le rumen est le plus volumineux puisqu'il contient de 70 à 75 % du contenu digestif total. C'est également le lieu de digestion le plus important puisque plus de 60 p.100 de la matière organique digestible y disparait. Cette digestion est due à l'action conjuguée des microorganismes (bactéries et protozoaires) dont la population est exceptionnellement dense, et du broyage des particules alimentaires lors de l'ingestion et surtout de la mastication lors de la rumination. Le rumen réunit toutes les conditions d'un fermenteur en continu : arrivée des aliments pendant 6 à 9 heures par jour, température et pH constants, anaérobiose, brassage permanent du contenu et évacuation continue des produits de la digestion.

Les acides gras volatils (A.G.V.) produits à partir de la fermentation de la matière organique dans le rumen, représentent la principale source d'énergie pour le ruminant (de 66 à 75 % de l'énergie disponible pour l'organisme). Les protéines microbiennes synthétisées dans le rumen, à partir de la matière organique fermentée, sont une source importante d'acides aminés dans l'intestin grêle du ruminant. Sur un plan à la fois digestif et nutritionnel, il est donc primordial de connaître la biomasse microbienne du rumen ainsi que les facteurs qui la modifie. C'est dans cet esprit que la majorité des communications ont été effectuées au cours de la session ''Ecosystème microbien dans le rumen'' du 5ème Symposium International de la Physiologie digestive et du Métabolisme chez le Ruminant.

Evolution des connaissances au cours des 20 dernières années

Les premiers travaux relatifs à la microbiologie du rumen ont porté sur les aspects méthodologiques des techniques de culture et sur l'identification des microorganismes. Un inventaire de la composition de la flore du rumen fut alors dressé (1er Symposium à Nottingham - Grande-Bretagne - 1960). Les connaissances concernant le métabolisme *in vitro* des protozoaires ciliés du rumen ont été ensuite précisées ainsi que les principaux facteurs qui modifient la population microbienne du rumen (2ème Symposium à Ames - Etats-Unis - 1964). Alors, il a été possible de discuter des relations entre les différents microorganismes et leur influence sur l'orientation des fermentations, appréciée par les produits terminaux dans le rumen (3ème Symposium à Cambridge - Grande-Bretange - 1969). Le développement de plusieurs équipes travaillant sur ce sujet en Grande-Bretagne, en Afrique du Sud et aux Etats-Unis a permis d'affiner l'état des connaissances et d'aborder ces études non plus en termes de microbes mais en fonction des genres, voire des espèces considérées. Les relations ''microbes-ruminant'' ont été précisées (4ème Symposium à Sydney - Australie - 1974).

Au cours du dernier symposium (qui a eu lieu à Clermont-Ferrand), en 1979, l'intérêt principal des travaux présentés a porté sur les trois sujets suivants :

- mise en évidence de l'existence de certaines catégories de microorganismes jusque là peu étudiés (bactéries attachées à la paroi du rumen, champignons dans le rumen) ;
- description de facteurs qui influencent à la fois la synthèse microbienne et la sélection des souches dans le rumen ;
- quelques données nouvelles sur la digestion de la cellulose dans le rumen.

I - Mise en évidence de certains microorganismes dans le rumen

1. Bactéries adhérentes à la paroi du rumen (R 227-250)

Leur installation :

Très tôt après la naissance (quelques heures) des animaux, une population bactérienne abondante se développe dans le

rumen. La sélection des espèces présentes se fait alors selon les conditions physico-chimiques du milieu. Au cours du sevrage, cette population microbienne composée de bactéries anaérobies facultatives, dont la paroi est du type Gram (+), va se fixer préférentiellement sur la muqueuse du rumen. La mise en place des fermentations anaérobies consécutives à l'ingestion d'aliments solides définissent de nouvelles conditions qui permettent alors à une population différenciée de type Gram (-) de s'installer dans le contenu du rumen. Les deux populations microbiennes sont donc très distinctes à la fois par leur nature et leur localisation géographique dans le rumen.

Leur nature :

Les bactéries s'attachent à la paroi du rumen par l'intermédiaire de leur enveloppe polyglucosidique appelée ''Glycocalyx''. Elles comprennent un nombre limité de types morphologiques organisés en microcolonies composées de cellules soeurs identiques qui prolifèrent à l'intérieur de la masse glycocalytique. Il est difficile de maintenir cette structure au cours de la fixation préalable à l'observation microscopique. La microscopie électronique à balayage donne une vue topographique excellente de ces bactéries adhérentes mais les fibres polyglucosidiques du ''glycocalyx'' sont mal connues.

Cette population bactérienne présente la particularité d'être indépendante de la nature du régime ou de la forme physique de la ration. Elle se maintient chez les animaux nourris artificiellement avec des infusions liquides de nutriments dans le rumen.

Leur rôle:

CHENG et COSTERTON (R 245-246) attribuent plusieurs rôles à ces bactéries.

a) Elles dégradent les cellules épithéliales fortement kératinisées provenant de la desquamation de la paroi du rumen. L'observation microscopique montre que seule la membrane plasmique (cytoplasmique) résiste à cette attaque. Ce recyclage de protéines corporelles, peu digestibles, en protéines microbiennes de bonne qualité pourrait représenter un bénéfice pour l'hôte.

b) Leur action protéolytique, avec libération d'ammoniaque qui pourra être utilisée par les bactéries anaérobies strictes du rumen, représente environ 10 p.100 de l'activité protéolytique du rumen.

c) Environ 10 à 15 % des bactéries adhérentes concentrent en elles seules la totalité de l'activité uréolytique du rumen en produisant de l'ammoniaque. Leur présence sur la paroi du rumen est particulièrement bien adaptée à l'utilisation de l'urée qui diffuse à travers la paroi du rumen.

d) Les bactéries adhérentes à la paroi sont en majorité anaérobies facultatives. Elles utilisent l'oxygène qui diffuse à partir du sang à travers la paroi, ce qui permet un rendement maximum des processus fermentaires anaérobies du rumen. En outre, la mobilisation par les bactéries adhérentes de l'oxygène sanguin qui draine la paroi du rumen, protège les bactéries anaérobies strictes du contenu de rumen qui sont, par définition, très sensibles à la présence de l'oxygène.

e) Enfin, ces bactéries jouent probablement un rôle dans l'oxydation de certaines molécules dans le rumen (cas des composés soufrés).

Leur relation avec la nutrition du ruminant

Les bactéries adhérentes à la paroi sont immobiles. Toutefois elles se détachent avec les cellules desquamées, ou sous l'action abrasive du contenu digestif, et constituent une partie de la biomasse bactérienne qui quitte le rumen. Comme les bactéries liées aux fibres végétales ou à l'amidon, elles se déplacent plus lentement que les bactéries libres du liquide du rumen. Elles sortent avec les bactéries libres lorsque le substrat solide auquel elles sont attachées est digéré. L'ensemble de cette population bactérienne (bactéries adhérentes à la paroi et bactéries fixées aux particules alimentaires) contribue à la production d'enzymes digestifs et à la synthèse d'une biomasse bactérienne, laquelle fournit des nutriments au Ruminant lors de sa digestion dans l'intestin grêle.

La découverte de cette population bactérienne fixée sur l'épithélium du rumen nous aide à mieux comprendre le rôle de cette interface (paroi + bactéries) placée entre la partie anaérobie de la muqueuse qui est en contact avec l'intérieur du rumen et les tissus de la paroi qui sont fortement irrigués par la circulation sanguine et donc riches en oxygène. Il est maintenant important de savoir si ces bactéries produisent d'autres enzymes que les protéases, désaminases et uréase déjà mises en évidence. En plus de leur contribution au passage d'urée sanguine vers le rumen, il est possible qu'elles jouent un rôle important dans le transport des A.G.V. et des composés soufrés à travers la paroi du rumen ainsi que dans la vitesse de renouvellement des cellules épithéliales du rumen.

2. Les champignons (C.A. 246-248)

L'existence de champignons anaérobies dans le rumen a été démontrée par ORPIN en 1977. BAUCHOP (C.A. 248) a indiqué que ces champignons étaient liés à la fraction solide du contenu du rumen et que l'importance de leur effectif dépendait de la présence de fourrages grossiers dans la ration ; ils sont totalement absents chez les animaux nourris avec des aliments succulents ou qui pâturent une herbe jeune.

Leur action sur la digestion des fibres cellulosiques:

BAUCHOP a étudié l'action des champignons anaérobies sur les fourrages en enfermant des fragments de plantes dans des sachets de nylon qui séjournent dans le rumen. Il a observé l'apparition, en quelques minutes, de spores à la surface des fourrages. En deux ou trois heures une population abondante de ''phycomycètes'' se fixe sur les particules alimentaires. Le développement rapide d'un ''mycélium'' dense est à l'origine de cette colonisation. Il a été possible de cultiver ces champignons en milieu anaérobie. Les ''phycomycètes'' se sont développés sur les substrats cellulosiques qu'ils ont dégradés dans la zone proche de leur lieu d'attachement. Il est fort probable que des cellulases d'origine fongique sont responsables de cette digestion.

Il est intéressant de signaler l'existence de tels champignons dans le tube digestif d'autres animaux herbivores consommant des aliments riches en glucides pariétaux (le daim, l'impala, les marsupiaux, le cheval, l'éléphant d'Afrique). Si l'on tient compte de la diversité des espèces animales concernées et de l'effectif important de leurs populations, on peut considérer que ces champignons sont particulièrement bien adaptés aux conditions d'anaérobiose qui existent dans le tube digestif. La colonisation rapide et intense des substrats cellulosiques, ainsi que le développement de leur nombre, nous autorisent à penser

que les champignons jouent un rôle spécifique dans la digestion de la cellulose. Ces premiers résultats seront probablement à l'origine de nombreux travaux à venir qui préciseront le rôle des champignons anaérobies dans le rumen.

II - Facteurs qui influencent la synthèse microbienne dans le rumen

Deux rapports de synthèse ont présenté les travaux récents sur ce sujet ; l'un a été fait par PRINS et CLARKE (R 179-204) et l'autre par HARRISSON et Mc ALLAN (R 205-226). Quelques rappels généraux sur la méthodologie et la terminologie utilisées dans ce domaine permettront de mieux comprendre les résultats.

1. Mesure de la croissance microbienne dans le rumen

Le rumen peut être assimilé à une culture continue en milieu renouvelé dont l'apport de nutriments est assuré d'une manière régulière par l'ingestion des aliments et la rumination. L'évolution de la population microbienne dans le rumen est reliée positivement à la vitesse de division des microorganismes ($\frac{dx}{dt} = \mu x$) et négativement à leur évacuation hors du rumen ($\frac{dx}{dt} = - Dx$). La variation globale de l'effectif des microorganismes considérés correspond à la somme algébrique de ces deux dérivés partielles :

$$\frac{dx}{dt} = (\mu - D)$$

$$\text{avec } \mu = \frac{\text{Log}x_2 - \text{Log}x_1}{t_2 - t_1} = \text{taux de croissance spécifique}$$

x_1 = effectif de la population microbienne au temps t_1

x_2 = " " " " t_2

$$D = \frac{\text{volume débité par unité de temps}}{\text{volume du rumen}} = \text{taux de dilution}$$

On peut également caractériser la croissance microbienne par le "rendement de croissance" : Y (ATP), correspondant à la quantité de matière sèche microbienne synthétisée par mole d'ATP produite (la molécule d'ATP : adénosine triphosphate, sert de support aux transports biologiques de l'énergie dans le métabolisme cellulaire). La production d'ATP est difficile à mesurer dans le rumen ; elle est généralement estimée à partir de la production d'A.G.V., c'est pourquoi HARRISSON et Mc ALLAN (R 207) préconisent d'utiliser plutôt le Y (Gluc) qui est plus facile à déterminer.

Y (Gluc) = matière sèche microbienne synthétisée par mole de glucose fermentée.

2. Mesure de la biomasse microbienne

"in vitro"

La biomasse microbienne totale peut être estimée par la mesure de l'incorporation d'isotopes au cours de la synthèse microbienne. Un rappel de ces méthodes a été fait par HARRISSON et Mc ALLAN (R 207-208). Certains font appel à l'emploi du ^{35}S, ^{15}N et du ^{32}P, d'autres à l'utilisation de marqueurs spécifiques des bactéries tels que l'acide diaminopimélique (D.A.P.). Cette dernière méthode présente peu d'intérêt en milieu de culture où sa concentration varie peu avec le temps d'incubation. La mesure de l'incorporation du ^{35}S ou du ^{15}N n'est pas bonne car les microorganismes fixent une quantité importante d'azote et de soufre à partir des acides aminés préformés lorsque leur croissance est nulle ou faible, ce qui est le cas en milieu de culture. C'est le ^{32}P qui donne la meilleure estimation de la biosynthèse microbienne *"in vitro"*.

"in vivo"

En plus des méthodes précédemment décrites, on peut apprécier la biomasse microbienne par la détermination des acides nucléiques (A.R.N. et A.D.N.) ou par l'emploi en complément avec le D.A.P. d'un marqueur qui serait spécifique des protozoaires tel que l'acide amino-éthyl phosphonique (A.E.P.), ou enfin l'analyse de profils d'acides aminés dans le contenu digestif.

L'ensemble de ces techniques a fait l'objet d'études comparatives (R 208-211) :

- les acides nucléiques évaluent la biomasse totale des microorganismes (bactéries + protozoaires). Ils donnent des valeurs par excès car ils peuvent exister à l'état libre dans le contenu digestif.
- l'emploi simultané de différents isotopes conduit à une évaluation de la synthèse microbienne qui diffère selon la nature de l'isotope. Puisque la composition de la population microbienne dans l'effluent du rumen n'est pas identique à celle qui habite le rumen, les mesures effectuées au niveau du duodénum sont entachées d'erreur.
- le D.A.P. n'est pas un marqueur de l'ensemble de la cellule bactérienne mais il se trouve essentiellement dans les mucopeptides de la paroi des bactéries Gram (-). La lyse des bactéries dans le tube digestif est à l'origine de la surestimation de l'azote bactérien total.
- le dosage de l'A.T.P. peut également permettre d'estimer la biomasse microbienne (C.A. 283-285). Cette technique a toutefois été peu utilisée jusque là car elle est peu fiable.

Il n'y a donc pas, à l'heure actuelle, de méthode idéale permettant de mesurer la biomasse microbienne dans le tube digestif du ruminant. Seule la technique au ^{32}P utilisée *"in vitro"* semble moins critiquée que les autres (R 208).

3. Facteurs qui agissent sur la croissance microbienne et sur la sélection des souches dans le rumen

Le régime

La nature du régime, et plus particulièrement de l'énergie, sera déterminante pour l'implantation et le développement des bactéries cf Y (ATP) et Y (Gluc) (C.A. 271-273 - C.A. 274-276 - C.A. 277-279). La présence de certains substrats glucidiques va favoriser le développement des espèces capables de les utiliser, au détriment de celles qui ne les métabolisent pas (par ex. les bactéries cellulolytiques sont très nombreuses avec

des régimes riches en cellulose). Les glucides peuvent également jouer un rôle sur l'activité métabolique des bactéries du rumen (R 180-183). Certaines enzymes bactériennes peuvent être inhibées par la formation de produits intermédiaires. Ainsi l'inactivation des enzymes cellulolytiques peut être levée par l'élimination du cellobiose au cours de la cellulolyse.

La source azotée peut également conditionner le développement des bactéries. La majorité d'entre elles peut utiliser indifféremment l'azote protéique ou l'azote non protéique ; toutefois certaines ont un besoin spécifique en acides aminés (acides aminés soufrés) (R 215-217).

Conditions physico-chimiques du milieu :

Il est établi depuis longtemps que le potentiel oxydo-réducteur, la température, le pH, la composition du mélange des A.G.V. et la teneur en ammoniaque du liquide du rumen jouent un rôle important dans le développement des microorganismes. D'autres facteurs ont été étudiés au cours de ce symposium.

Le taux de dilution (D) (R 193-198 et R 211-215)

A une vitesse de vidange élevée de la phase liquide du rumen, correspondra une évacuation forte des bactéries hors du rumen. Ainsi les microorganismes dont le taux de croissance spécifique est inférieur au taux de dilution disparaitront du rumen (cf variation de l'effectif $= \frac{dx}{dt} = (\mu - D)\, x$). Lorsque l'effectif d'une population est stable, son taux de croissance est égal au taux de dilution. Une population sera en phase de croissance lorsque $\mu \searrow D$. Des travaux effectués par HARRISSON en 1975, il ressort que l'on peut accroître D en augmentant la quantité de sels ingérée par le ruminant et, en même temps, modifier l'orientation des fermentations dans le rumen et donc la population microbienne qui l'habite. Seules les bactéries libres sont sensibles à D, puisque les bactéries liées ou attachées ainsi que les protozoaires migrent avec les particules solides. Le broyage des aliments accroît également D ce qui peut entraîner une élimination totale des protozoaires et une réduction du nombre des bactéries cellulolytiques comme l'ont montré PRINS et CLARKE (R 196).

Nature et importance de l'azote (R 215-217)

Les bactéries fixent rapidement l'azote ammoniacal ($N\text{-}NH_3$) par l'intermédiaire d'une enzyme (glutamine synthétase). Leurs besoins en NH_3 varient selon les auteurs de 3 à 9,5 et même 17,5 mmoles/litre de liquide du rumen. Ces résultats divergents s'expliquent par la diversité des espèces bactériennes concernées et par leurs différences de perméabilité à NH_3. L'excès de NH_3 ne nuit pas à la croissance des bactéries. Les microorganismes peuvent également utiliser les acides aminés libres (cas de la méthionine). Ainsi le remplacement d'urée par des acides aminés dans deux rations isoazotées a réduit le temps de division des bactéries de 6,7 à 3,4 heures et accru le Y (ATP) de 15,4 à 20,6. L'effet positif des acides aminés sur la croissance bactérienne sera donc d'autant plus important que D sera élevé.

Les protozoaires (R 221-223) :

Globalement, la synthèse protéique microbienne n'est pas modifiée par la disparition des protozoaires (défaunation) dans le rumen. L'absence de protozoaires est alors compensée par une augmentation de la population bactérienne dont la composition qualitative se modifie. La part que représentent les protozoaires dans la biomasse microbienne totale du rumen **varie de 46 à 87 p.100 suivant la nature du régime.** Leur contribution à la biomasse microbienne totale dans le duodénum est plus faible puisqu'elle n'en représente environ que 30 p.100 (tabl. 1). Elle est la plus faible avec les régimes à base de fourrages et pendant les périodes postprandiales car les protozoaires se fixent préférentiellement aux grosses particules alimentaires qui sont retenues dans le rumen. Si on augmente D, la biomasse de protozoaires qui entre dans le duodénum s'accroît, et le recyclage des protéines de protozoaires dans le rumen diminue.

Ainsi, HARRISSON a calculé que si $D = 0{,}078\ h^{1}$, la totalité des protozoaires doit pouvoir quitter le rumen sans que leur effectif soit affecté ; si $D > 0{,}078\ h^{1}$, le maintien d'une population de protozoaires dans le rumen s'explique par une diminution de leur proportion dans le contenu digestif qui quitte le rumen.

TABLEAU I

Proportion de la biomasse (B.P.) ou de l'azote (A.P.) des protozoaires dans la biomasse (B.T.M.) ou l'azote (A.T.M.) microbien total au niveau du rumen et du duodénum
(résumé de données bibliographiques)

ANIMAUX	REGIMES	B.P. dans B.T.M. du rumen	B.P. dans B.T.M. du duodénum	A.P. dans A.T.M. du duodénum
moutons	semi-purifié	0,50	0,28	0,27
moutons	luzerne séchée	0,46	-	-
moutons	fourrages secs	-	0,27	-
moutons	fourrages verts	-	-	0,06
boeufs	fourrages secs	0,49	0,28	0,16
boeufs	orge	0,78	0,59	0,55
boeufs	concentré	0,87	-	-

Le soufre (R 220-221) :

La teneur en soufre de la biomasse microbienne est relativement constante (8 g de S/kg MS). Le soufre est utilisé par les microorganismes à partir du pool de sulfure mais il peut également provenir de l'incorporation d'acides aminés soufrés préformés (méthionine). Le rapport N protéique/S protéique est de 18,5 et 21,6 respectivement pour les bactéries et les protozoaires ce qui montre que la nature de leurs protéines est différente.

La synthèse microbienne est optimale lorsque la teneur en soufre du pool de sulfure est de 1 mg S/litre de contenu du rumen. Il sera donc important de tenir compte de ce paramètre au cours de l'élaboration des rations du ruminant.

Autres facteurs :

Quelques essais ont montré que le niveau d'ingestion ainsi que l'apport de phosphore dans la ration peut modifier la synthèse microbienne. Il est trop tôt pour conclure sur l'effet de ces deux paramètres puisque les informations fournies restent fragmentaires (R 223).

III - Données nouvelles sur la digestion de la cellulose dans le rumen

Nous avons vu que des champignons anaérobies présents dans le rumen pouvaient participer à la dégradation de la cellulose (C.A. 246-248). De la même façon, des précisions ont pu être apportées sur le rôle des protozoaires ciliés du rumen dans la digestion de la cellulose. Il a été montré que celle-ci était accrue par l'inoculation de protozoaires dans un rumen défauné (C.A. 261-263). Cet effet est dû principalement à un accroissement de l'activité cellulolytique des bactéries chez les animaux faunés qui reçoivent des aliments grossiers ; dans le cas où les animaux sont nourris avec des aliments concentrés ou succulents, l'augmentation de la cellulolyse est due à une action directe des ciliés (tabl. 2). L'existence d'une cellulase a pu être mise en évidence dans l'endoplasme des ciliés (C.A. 255-257 et 258-260). Cette cellulase n'a pas le même pH optimum que celle des bactéries du rumen. Elle pourrait cependant provenir de bactéries symbiotiques qui vivent dans le ''sac digestif'' des protozoaires. L'observation microscopique de protozoaires a permis de mettre en évidence la présence de tubules fixées à la membrane des vacuoles, à l'intérieur desquelles vivent les bactéries symbiotiques (C.A. 256). Ces tubules peuvent concentrer les cellulases bactériennes, lesquelles agiraient ensuite sur le substrat cellulosique ingéré par le cilié. L'état latent de cette enzyme, ainsi que sa haute activité à pH acide, montrent qu'elle est probablement localisée dans une zone précise du cytoplasme (vacuoles digestives) et qu'elle est sécrétée par des organites cellulaires spécialisés appelés ''lysosomes''. Il n'est toutefois pas possible, à partir de ces données, d'en déduire l'origine (cellulase des protozoaires ou des bactéries).

Conclusion

Aujourd'hui encore l'état des connaissances sur l'écosystème que constituent le rumen et les microorganismes y vivant reste tout à fait fragmentaire. Les progrès apparaissent lentement et sont étroitement liés au développement de la technologie (microscopie électronique - informatique - techniques de culture des microorganismes ou d'analyse au laboratoire...). Les relations entre microorganismes d'une part, et entre microbes et ruminant d'autre part, commencent à être connues. Elles sont régies par de nombreux facteurs dont certains ont été mis à jour et développés au cours de ce symposium. Elles permettent, entre autres, de proposer des modèles dynamiques de la digestion chez le Ruminant. Ceux-ci devront être améliorés, à l'avenir, par une plus grande précision des mesures, ce qui nous permettra de mettre en évidence l'importance relative de chaque paramètre étudié. Il sera alors possible de passer du stade descriptif des phénomènes digestifs, à la quantification des différentes phases de la digestion. La mise en équations mathématiques des processus permettra de traiter les observations par ordinateur et de prévoir probablement l'utilisation métabolique des rations ingérées par le ruminant et de les ajuster au type de production envisagée. Les travaux présentés dans ce sens par BALDWIN et KOOG (R 251-268) sur le ''modelling'' de la digestion chez le Ruminant permettent de comprendre la philosophie de cette démarche et de préciser la nature des travaux de recherches qui seront effectués au cours des prochaines années.

TABLEAU II

Influence des protozoaires du rumen sur la digestibilité (CUD) de la lignocellulose et l'activité cellulolytique des bactéries (A.C.) chez le mouton recevant différents régimes
(d'après JOUANY et SENAUD - C.A. 261-263)

Animaux	Mesures	Régime à base de				
		Cellulose	Amidon	Inuline	Saccharose	Lactose
défaunés (sans protozoaires)	CUD	68,8[a]	55,6[a]	66,4[a]	62,5[a]	55,4[a]
	A.C.	38,3[a]	27,3[a]	29,9[a]	28,4[a]	28,1[a]
faunés (avec une faune conventionnelle)	CUD	71,1[b]	60,0[b]	68,7[b]	69,2[b]	58,4[b]
	A.C.	41,0[b]	21,1[b]	26,2[b]	26,8[b]	23,2[b]

(Les valeurs affectées de lettres différentes sont significativement différentes au seuil $P \leqslant 0,05$)

Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., 1981 (45) 57-61

SECTION IV

La digestion chez le ruminant et ses manipulations

C. PONCET

Laboratoire de la Digestion

Au cours des 20 dernières années, les recherches sur l'alimentation des ruminants ont progressé rapidement vers une meilleure connaissance des mécanismes de la digestion, et du fonctionnement du rumen en particulier, et dans le domaine de l'intensification de la production. Une analyse de l'état actuel des connaissances fait apparaître néanmoins certaines lacunes et soulève la question de savoir s'il est encore possible d'accroître les performances de nos ruminants et par quels moyens.

En effet, les connaissances sur la digestion et les principes généraux qui ont pu être établis résultent d'expériences réalisées le plus souvent avec des animaux adultes à l'entretien (généralement des moutons) et des rations constituées essentiellement de fourrages distribuées en quantités limitées. Or, dans la pratique, l'alimentation des animaux en production est différente : les rations sont riches en aliment concentré et les quantités ingérées sont élevées, atteignant 3 à 4 fois les besoins énergétiques d'entretien. Deux questions se posent alors : les mécanismes et les facteurs de variation de la digestion des rations riches en fourrages sont-ils suffisamment bien connus aujourd'hui et, en conséquence, peut-on prévoir à l'aide d'équations simples et avec une précision suffisante la valeur nutritive des rations de fourrages ? Peut-on évaluer l'erreur que l'on fait en appliquant aux rations de production les principes généraux de la digestion établis dans des conditions expérimentales différentes, avec des rations à base de fourrages ?

En ce qui concerne l'intensification de la production, existe-t-il des obstacles physiologiques ou nutritionnels à de nouvelles améliorations des performances zootechniques de nos ruminants ? Enfin, peut-on agir sur la digestion microbienne dans le rumen pour accroître l'efficacité énergétique des fermentations ? Ces différentes questions définissent les grands thèmes développés au cours de la 4ème session du symposium.

Digestion et valeur nutritive des fourrages

La valeur nutritive d'un fourrage dépend principalement de son origine botanique, de son mode de conservation et des traitements physicochimiques subis avant sa consommation par l'animal. L'exposé consacré à la digestion des fourrages décrit l'influence de ces paramètres sur les processus digestifs et tente d'en expliquer les mécanismes.

L'étude de la digestion des fourrages verts consommés à l'état frais n'a fait l'objet que d'un petit nombre d'expériences (au total 10) parmi lesquelles seulement 2 concernent des mesures au paturâge. La digestion de la matière organique (M.O.) des fourrages verts a lieu principalement dans le rumen sans que l'on puisse établir de différences entre graminées et légumineuses. Compte tenu du faible nombre de données, il n'est pas possible non plus d'établir de différences entre les deux espèces botaniques au niveau de l'utilisation de l'azote dans le rumen.

Les modifications de la digestion induites par les procédés de conservation sont très variables et souvent difficiles à prévoir (manque de données, variabilité des traitements et de la composition chimique du fourrage de départ). La déshydratation artificielle a des effets mieux connus que le séchage naturel au champ. Sans influence notable sur la digestion des glucides dans le rumen et l'ensemble du tube digestif, elle améliore le rendement énergétique de la biosynthèse des AGV de façon importante ; les quantités d'acides aminés entrant et absorbées dans l'intestin grêle sont accrues en raison de la diminution de la vitesse de dégradation des protéines alimentaires et de l'amélioration de l'efficacité de la synthèse microbienne.

Les ensilages réalisés sans conservateur ont une composition différente de celle du fourrage de départ, surtout pour ce qui concerne la teneur en acides aminés (AA). Leur valeur

azotée est inférieure, conséquence d'une faible efficacité de la synthèse microbienne ou d'une mauvaise utilisation par les microbes de l'azote fermentescible. Ceci justifie l'emploi des conservateurs d'ensilage.

Le broyage et l'agglomération des fourrages secs a des effets relativement bien connus. En augmentant la surface d'attaque offerte aux microbes, il augmente la vitesse de fermentation et le taux de renouvellement des digesta dans le rumen. Les conséquences sur la digestion sont nombreuses : augmentation des quantités ingérées, diminution de la digestion des glucides pariétaux dans le rumen et de la production d'AGV ; sous l'effet d'une réduction de la dégradabilité des protéines alimentaires, le flux d'AA à la sortie du rumen est accru.

Ainsi, les effets des procédés de conservation se manifestent principalement au niveau de la fourniture d'AA à l'animal et non, à l'exception du broyage, au niveau de la digestion des glucides.

Les auteurs soulignent enfin qu'en raison de l'insuffisance des données, des grandes variations de composition chimique des fourrages frais et conservés, et de la complexité des effets dynamiques et des interactions au niveau du rumen, il est peut concevable de prévoir avec précision la valeur nutritive d'un fourrage à l'aide de relations simples. Selon eux, la technique de modelisation est seule capable d'intégrer l'information et de l'utiliser.

Digestion des rations riches en aliments concentrés

Dans le rapport n°13 qui peut être considéré comme un prolongement du rapport sur la digestion des fourrages, l'auteur s'interroge sur la validité de l'extrapolation à des animaux en production recevant des rations riches en aliments concentrés, des principes de la digestion et des paramètres établis expérimentablement à partir de mesures effectuées sur des animaux adultes, à l'entretien, et des rations à base de fourrages distribués en petits repas tout au long de la journée. L'auteur tente donc d'analyser les effets du pourcentage d'aliment concentré, du niveau d'ingestion, de la fréquence des repas et de l'état physiologique de l'animal (croissance, gestation, lactation) sur la digestion (transit des aliments, digestion dans le rumen, production d'AGV, synthèse microbienne).

Transit des aliments dans le tube digestif

Lorsque les quantités ingérées augmentent, le temps de séjour des digesta dans le rumen diminue. L'augmentation de la proportion d'aliments concentrés aurait l'effet inverse. L'auteur souligne le manque de données, surtout chez les bovins, et les carences de la méthodologie qu'il serait urgent de développer.

Digestion dans le rumen

Lorsque les quantités ingérées augmentent, la digestibilité de la MO ou de l'énergie (E) dans le rumen diminue. Les données, là encore sont peu nombreuses, surtout chez les bovins. A partir des quelques résultats disponibles, il apparait que la proportion de MO digestible disparaissant dans le rumen est supérieure chez la vache. Des travaux sont à faire pour préciser ces résultats.

Lorsque la proportion de concentrés augmente, la quantité de MO apparemment digérée dans le rumen (MOD_r) n'est pas modifiée ou augmente proportionnellement à la quantité de MO digestible ingérée (MOD_i), selon la nature des aliments concentrés (orge ou maîs) et leur incidence sur le temps de séjour des digesta dans le rumen. L'addition d'huile entraîne une diminution de la MOD_r d'autant plus marquée que la supplémentation est importante.

Enfin, le passage d'une alimentation fractionnée en plusieurs petits repas à une alimentation en 2 repas par jour, tend à diminuer la digestion au niveau du rumen, bien que cet effet soit mal connu.

Production d'AGV dans le rumen

Cette mesure est peu fréquente, en raison de difficultés méthodologiques et de son imprécision dans les conditions d'alimentation des animaux en production. On détermine le plus souvent la proportion molaire des différents AGV qu'on utilise comme un index de la valeur énergétique d'une ration.

L'effet de l'augmentation du niveau d'ingestion sur la production d'AGV est mal connu. Dans certaines expériences (moutons, bouvillons), la production d'AGV évolue parallèlement à la MOD_i ; chez la vache laitière à haut niveau d'ingestion, l'énergie des AGV n'a représenté que 30 à 44 p.100 de l'énergie digestible, contre 63 p.100 chez la vache tarie. Peu influencée dans le cas des rations de fourrages, la proportion molaire des AGV est modifiée dans le sens d'une augmentation du propionate (C_3) et une diminution de l'acétate (C_2) avec les rations riches en aliments concentrés.

Les effets de l'augmentation du pourcentage d'aliments concentrés sont loin d'être élucidés et souvent opposés en raison des difficultés méthodologiques. La part des AGV dans l'énergie digestible ingérée aurait tendance à diminuer lorsque le niveau d'ingestion s'élève, effet qu'atténue le fractionnement de la ration en une série de petits repas. Il est bien connu que la composition du mélange d'AGV du liquide du rumen est modifiée (augmentation de C_3) mais ces variations ne traduisent pas forcément des variations de production comme dans le cas des fourrages.

Synthèse microbienne

Pour l'animal hôte, la synthèse microbienne est aussi importante que le catabolisme microbien. L'auteur ne s'attarde pas sur cet aspect qui a fait l'objet de nombreuses revues récentes (synthèse protéique) ou qui est mal connu (synthèse lipidique). L'efficacité de la synthèse protéique est très variable, en fonction principalement de la teneur en énergie fermentescible des rations, mais aussi du fonctionnement mécanique du rumen (temps de séjour des digesta) et du faciès microbien (nombre de protozoaires). Des résultats récents montrent qu'une augmentation de la concentration énergétique des rations tendrait à diminuer l'efficacité de la synthèse protéique. Un accroissement du taux de dilution du liquide du rumen améliore cette efficacité chez le mouton, mais cet effet

n'est pas certain chez la vache dont le rumen fonctionne avec un taux de dilution toujours supérieur.

Le bilan des transformations des lipides dans le rumen est souvent positif, le supplément provenant pour 1/3 environ de synthèse *de novo,* le reste étant d'origine inconnu. Le métabolisme des lipides dans le rumen sera mieux connu quand on saura distinguer les lipides microbiens (simplement incorporés ou synthétisés *de novo*) des lipides endogènes.

Influence du stade physiologique

L'auteur termine l'analyse des modifications digestives induites par les conditions d'alimentation des animaux en production en soulignant l'éventualité d'un effet du stade physiologique de l'animal. Ce facteur pourrait agir indirectement sur la digestion dans le rumen en modifiant certains paramètres digestifs, métaboliques ou hormonaux. Compte tenu du manque de données, ce thème ne peut être développé.

Nutrition et production : analyse des facteurs limitants

Si l'amélioration de la productivité de nos ruminants est à attribuer en premier lieu aux améliorations génétiques, les progrès en alimentation ont été nécessaires pour permettre à chacun des génotypes créés d'exprimer sa production potentielle. On peut se demander aujourd'hui s'il existe des limites nutritionnelles à l'augmentation des performances laitières ou de croissance. C'est l'objectif du rapport n°15 du symposium dans lequel l'auteur confronte la capacité potentielle du tube digestif du ruminant à fournir des nutriments (énergie métabolisable, AA microbiens) aux besoins des animaux à forte production. Les données faisant souvent défaut, l'auteur est contraint à des hypothèses et des approximations. La plupart des améliorations de la production se sont effectuées par la voie d'une augmentation de la capacité d'ingestion, exprimée en énergie métabolisable par unité de poids vif (EM/kg PV). Le rumen jouant le rôle principal dans la digestion des aliments, l'objectif a été atteint en augmentant le volume du rumen et/ou en augmentant la fermentescibilité des aliments pour permettre un renouvellement rapide des digesta à ce niveau. Si l'on veut accroître encore les performances de production, il faut accroître l'ingestion d'EM, et pour cela augmenter le niveau d'ingestion et la digestibilité. Ceci est-il encore concevable, ou a-t-on atteint une limite ? C'est la première contrainte nutritionnelle. La deuxième limite nutritionnelle potentielle concerne la satisfaction des besoins azotés.

La capacité potentielle du tube digestif d'un ruminant pour l'approvisionnement énergétique de l'animal excède de beaucoup les besoins énergétiques, même dans le cas de production élevée (tabl. 1).

Les besoins en énergies glucogéniques (1) sont importants mais mal connus. Ils seraient de l'ordre de 30 % de l'énergie absorbée pour la synthèse des lipides et probablement autant pour la synthèse des protéines. L'animal en lactation utilise aussi du glucose pour la synthèse du lactose du lait. A partir de ces approximations, il est possible d'estimer les besoins en énergie glucogénique pour différents stades et niveaux de production (tabl. 1). Par ailleurs, il est possible d'avoir un ordre de grandeur des quantités d'énergie glucogénique dont dispose un ruminant en estimant la part de l'énergie des AGV utilisée sous la forme de glucose ; elle varie de 20 à 50 p.100 selon que le pourcentage molaire de propionate varie de 15 à 45 p.100. Or, les AGV ne représentent que 75 p.100 de l'énergie absorbée et donc, d'autres sources d'énergie peuvent aussi fournir du glucose.

Sans prendre en compte les récentes estimations des besoins azotés d'entretien des tissus (3 fois supérieures aux normes actuelles), on constate que la part des besoins satisfaite par la synthèse microbienne est faible, particulièrement chez le jeune en croissance ou la vache en début de lactation (tabl. 1).

Pour la croissance comme pour la production laitière, les capacités d'ingestion et de digestion ne sont pas des facteurs limitants la fourniture d'EM. Pour la croissance, il n'est même pas utile de chercher à accroître de façon excessive la fermentescibilité de l'énergie ingérée (par broyage de la céréale par exemple) ce qui ne ferait qu'augmenter les risques de troubles digestifs (faibles pourtant dans le rumen) et diminuer la qualité des carcasses. Chez la vache laitière, la difficulté n'est pas d'assurer l'apport d'EM, mais de maintenir au niveau du rumen un type de fermentation stable assurant un taux butyreux du lait correct et un bon état sanitaire de l'animal. Il semble que l'on puisse atteindre aisément cet objectif en fractionnant la distribution des aliments concentrés et en distribuant simultanément, ou sous forme d'aliment complet, fourrages et aliments concentrés.

La disponibilité en énergie glucogénique n'est probablement pas non plus un facteur limitant chez l'animal à forte croissance, ou chez la vache laitière bien alimentée (en bilan énergétique positif). Par contre, chez la vache laitière en bilan énergétique négatif, le déficit est possible et les risques de carence en glucose sont proportionnels au déficit. Ces troubles du métabolisme, appelés acétonémie, peuvent apparaître en début de lactation, période où l'ingestion est considérablement inférieure aux besoins. Ce manque d'appétit aurait pour origine les troubles digestifs consécutifs à une ingestion excessive d'aliments concentrés et il est possible de diminuer la fréquence de l'acétonémie en agissant sur le mode de distribution des aliments concentrés, comme nous l'avons déjà indiqué.

La satisfaction des besoins azotés ne parait pas être un facteur limitant de l'accroissement de la production, dans la mesure où l'on peut distribuer, pour compléter l'apport microbien, des sources d'azote non dégradées dans le rumen.

Manipulation chimique des fermentations dans le rumen

Il est possible d'agir sur les fermentations microbiennes dans le rumen pour modifier les quantités relatives des produits

(1) Energie glucogénique : pour assurer ses synthèses de protéines, de lipides, de lactose (lait) le ruminant utilise des quantités importantes de glucose. Ce glucose ne représente qu'une faible proportion des produits terminaux de la digestion et doit être synthétisé à partir de précurseurs glucogéniques (propionate, lactate, et, selon les régimes, acides aminés). L'énergie de ces substrats de la néoglucogénèse constitue ce que nous appellerons ici l'énergie glucogénique.

TABLEAU I

Capacité digestive et besoins énergétiques et azotés du ruminant à différents stades et niveaux de production

Animaux	Poids vif (kg)	Niveau de production (g/jour)	Besoins en EM (1) (Mcal/j)	Besoins en E.G. (2) (% EM)	Apports énergétiques potentiels (3) (Mcal/j)	Part des besoins (4) N couverte par microbes (%)
Agneaux	20	0	0,93	6,34	2,37	105
	20	300	2,25	-	5,17	59
	20	600	3,56	-	5,89	51
	40	300	3,56	10,77	5,07	111
	40	600	5,55	-	5,79	85
Taurillons	200	-	2,65	39,78	2,37	73
	200	0	5,31	-	2,37	149
	200	1000	10,21	-	4,69	69
	200	2000	16,94	-	5,64	73
	400	0	8,95	67,11	2,37	185
	400	1000	16,41	-	4,50	109
	400	2000	26,53	-	5,55	115
		(kg lait 4%/j)				
Vache Laitière	600	0	14,81	102,01 (avant vêlage)	2,37	338
	-	10	26,43		5,26	89
	-	20	38,06	136,45 (après vêlage)	6,36	69
	-	40	61,32		7,34	58
	-	40	61,32		8,21	47
	-	60	84,57		7,80	54
	-	60	84,57		9,33	39

(1) E.M. = énergie métabolisable
(2) E.G. = énergie glucogénique
(3) quantité d'énergie métabolisable maximale qui peut être mise à la disposition de l'animal.
(4) Proportion des besoins en acides aminés satisfaite par la synthèse de protéines microbiennes dans le rumen.

formés, soit en protégeant des dégradations certains composants de l'aliment, soit en agissant directement sur l'équilibre entre les espèces microbiennes et/ou leur activité.

Le premier aspect, peu développé, a été illustré par le traitement au formol des fourrages. Ce traitement protège les protéines des fourrages contre les dégradations microbiennes au cours de la conservation et dans le rumen, et améliore la valeur azotée de l'ensilage.

Le deuxième aspect a été largement développé car plus récent et moins connu. Il est possible en effet, par addition de certaines substances chimiques dans la ration, d'agir sur les fermentations dans le rumen et d'améliorer les performances de l'animal. L'effet et le mode d'action des différents types de substances chimiques connues sont décrits (les ionophores, les composés halogénés, les diaryliodures, les antibiotiques, les produits phytosanitaires, les antiprotozoaires).

Les ionophores, parmi lesquels on trouve le monensin, utilisé aux Etats-Unis et en France sous le nom de Rumensin, agissent en modifiant la perméabilité des cellules microbiennes aux ions sodium, potassium et calcium. Les modifications fermentaires dans le rumen se traduisent par une inhibition de la méthanogénèse, une augmentation de la production de propionate (C_3), une diminution de l'acétate (C_2) et du butyrate et une réduction de la protéolyse ou de la désamination. Il y a donc économies d'énergie et d'azote au niveau du rumen, qui ont pour conséquence une amélioration de l'efficacité alimentaire chez l'animal en croissance. Ces susbtances agiraient par des mécanismes de sélection d'espèces bactériennes tolérantes au ion sodium.

Les autres catégories de substances ont des effets analogues, avec cependant quelques particularités. Les diaryliodures sont connus surtout pour leurs effets d'économie d'azote. Certains antibiotiques inhibent temporairement la production d'acide lactique et d'AGV, ce qui est intéressant pour la prophylaxie des acidoses lactiques. L'intérêt des antiprotozoaires dépend du rôle de ces microorganismes dans la nutrition du ruminant.

D'une façon générale, ces additifs alimentaires contrôlent la fermentation de composés biochimiques simples (hexoses, acides aminés). Leur action n'est pas très spécifique et insuffisamment connue (effets sur les microorganismes, sur la cellulolyse). Ils font l'objet de nombreuses recherches et le problème des résidus dans les carcasses reste posé.

Conclusion

De cette IVème session relative à la digestion chez le ruminant et à ses manipulations, on peut tirer les réflexions suivantes :

- les connaissances sur la digestion des aliments dans le rumen ont beaucoup progressé mais il y a des lacunes importantes : peu de données concernant la digestion des fourrages verts et des foins ; données imprécises et encore plus limitées sur la digestion des rations riches en aliments concentrés étudiées sur des animaux en production. Les raisons sont d'ordre méthodologique (imprécision des principales techniques de mesures utilisées dans les conditions d'alimentation normales) et physiologique (variabilité des types de fermentation avec les rations de production).

- la complexité des processus digestifs, l'existence d'effets dynamiques et d'interrelations entre facteurs de variations dans le rumen, et la variabilité de composition des aliments utilisés sont autant de facteurs qui rendent difficile la prévision de la valeur alimentaire. Les relations mathématiques utilisées actuellement sont imprécises et de portée limitée.

La technique du ''modelling'' est certainement la mieux adaptée pour comprendre les phénomènes digestifs et prévoir la valeur alimentaire.

- il semblerait que, du point de vue nutritionnel, il n'y ait pas d'obstacles à ce que l'on puisse accroître encore la productivité de nos ruminants.

- la découverte de substances chimiques capables d'agir de façon relativement spécifique sur l'activité microbienne dans le rumen et de modfifier la quantité des produits formés dans un sens favorable à la production envisagée constitue à la fois un progrès important pour une meilleure valorisation des aliments par le ruminant, et un outil efficace pour les recherches sur le fonctionnement du rumen.

Articles scientifiques parus en 1980

(AUTRES QUE CEUX PUBLIES DANS LES ANNALES DE L'INRA)

AUROUSSEAU B., BAUCHART D., 1980. Stepwise purification of fatty acids : compared fractional crystallization with urea or from acetone solution of palmitoléic, heptadécenoic and oleic acids. *J. of Am. Oil Chemist's Society,* **57**, 124-128.

BELAGE M., GRIZARD J., 1980. Influence de la restriction énergétique sur les récepteurs de glucagon dans le foie chez le rat en croissance. Journées "Métabolisme" Association Française de Nutrition.

BARLET J.P., 1980. Inhibition by calcitonin of hypercalcaemia induced by 1,25-dihydroxycholecalciférol. *J. Endocr.,* **85**, 63-67.

BAUCHART D., AUROUSSEAU B., 1980. Preparation of heptadecenoic acid from *Candida tropicalis* yeast. *J. of the Am. Oil Chemist's Society*, **57**, 121-124.

BERANGER C., MICOL D., 1980. Intake in relation to the animal. in "Energy and protein feeding standards applied to the rearing and finishing of beef cattle". Proc. EEC Seminar Theix 1979, *Ann. Zootechn.,* **29**, n° h.s., 209-226.

BOCCARD R., VALIN C., BONAITI B., 1980. Effect of genotype in pigment, lipid and collagen content of the *Longissimus dorsi* muscle in young bulls. 26° Congrès Européen des Chercheurs en Viande, Colorado Springs, 31 août au 5 septembre, **1**, (F-4), 271-274.

BUENO L., FIORAMONTI J., GUEUX Elyett, RAYSSIGUIER Y., 1980. Gastrointestinal hypomotility in magnesium deficient sheep. *Can. J. Anim. Sci.,* **60**, 293-301.

CABELLO G., 1980. Relationships between thyroid function and pathology of the newbron calf. *Biol. Neonate,* **37**, (1-2), 80-87.

CABELLO G., LEVIEUX D., 1980. Thyroîd fuction in the newborn lamb : relationships with the length of gestattion and the birthweight. I.R.C.S. *Med. Sci.,* **8**, 178.

CABELLO G., 1980. Plasma cortisol and aldosterone levels in healthy and diarrhoeic calves. *Brit. Vet. J.,* **136** (2), 160-167.

CABELLO G., LEVIEUX D., LEFAIVRE J., 1980. The effects of intra-amniotic injections of thyroxine on the absorption of colostral IgG1 by the newborn kid. *Brit. Vet. J.,* **136** (2), 193-194.

CABELLO G., LEVIEUX D., 1980. Neonatal changes in the concentrations of thyrotropin, triiodothyronine, thyroxine and cortisol in the plasma of pre-term and fullterm lambs. *J. Developm. Physiol.,* **2**, 59-69.

CHAMPREDON C., REMOND B., PION R., 1980. Blood free amino acid patterns of dairy cows during the beginning of lactation. Proceedings of the 3rd EAAP Symposium on Protein Metabolism and Nutrition. Braunschweig, R.F.A., 1980, (2) 465-471.

CONTREPOIS M., GIRARDEAU J.P., DUBOURGUIER M.C., GOUET P., 1980. Virulence des *E. coli* entéropathogènes du veau. 4ème réunion des microbiologistes de l'INRA à Angers. Rapport I.N.R.A.

DAVICCO Marie-Jeanne, BARLET J.P., 1980. Thyroxine et triiodothyronine plasmatiques chez l'agneau

nouveau-né : influence du poids de naissance, de la durée de gestation et du mode de délivrance. *Ann. Endocr.*, **41**, A98.

DAVICCO Marie-Jeanne, DARDILLAT C., BARLET J.P., 1980. Thyroxine et triiodothyronine plasmatiques du veau nouveau-né : influence de divers facteurs. *J. Physiol.*, Paris, **76**, 7A.

DAVICCO Marie-Jeanne, VIGOUROUX E., BARLET J.P., 1980. Relationships between birthweight and plasma thyroxine, triiodothyronine and iodide concentration in lambs. *J. Develop. Physiol.*, **2**, 53-58.

FAUCONNEAU G., 1980. Le mur des estomacs et l'avenir agro-industriel, adaptation des matières premières agricoles aux transformations industrielles - les voies de la recherche. *Colloque A.P.R.I.A.* Paris, septembre 1980.

FAUCONNEAU G., 1980. 1980. Food in the future. Colloque I.B.M. Hambourg, Juin 1980.

FAUCONNEAU B., 1980. Synthèse protéique *in vivo* chez la truite arc-en-ciel (*Salmo gairdneri* R.). Métabolisme de la leucine. Influence de la température. Thèse de Docteur-Ingénieur, I.N.A., Paris-Grignon.

GEAY Y., 1980. Survey of the protein feeding standards used in the Cost countries. in''Energy and protein feeding standards applied to the rearing and finishing of beef cattle''. Proc. EEC Seminar Theix 1979. *Ann. Zootechn.*, **29**, n° h.s., 53-64.

GEAY Y., 1980. French energy and protein feeding standards for growing and fattening cattle. in ''Energy and protein feeding standards applied to the rearing and finishing of beef cattle''. Proc. EEC Seminar Theix 1979. *Ann. Zootechn.*, **29**, n° h.s., 393-396.

GEAY Y., 1980. Protein requirements of growing and fattening catlle. Proc. 3 rd. EAAP Symposium on ''Protein Metabolism and Nutrition'' Braunschweig, R.F.A., 1980 (2) 803-824.

GEAY Y., ROBELIN J., VERMOREL M., 1980. Influence of the metabolizable energy content of the diet on energy utilization for growth in bulls and heifers. Proc. 8 th Symposium on *''Energy Metabolism''* Cambrige, 1979, Ed. L.E. Mount 9-12.

DEMARQUILLY C., CHENOST M., SAUVANT D., 1980. Simple methods to predict feeding value : applied aspects. in : ''Energy and protein feeding standards applied to the rearing and finishing of beef cattle''. Proc. EEC Seminar Theix 1979. *Ann. Zootechn.*, **29**, n* h.s., 351-368.

GIRARDEAU J.P., 1980. A new *in vitro* technique for attachment to intestinal villi using enteropathogenic. *E. coli* Inst. Pasteur, 131B, 31-37.

GIRE P., MONIN G., 1980. Influence of prednisolone or cortisol injection on muscle glycogenolysis during transport stress in lambs. 26° Congrès Européen des Chercheurs en Viande - Colorado Springs, 31 août - 5 septembre, **1**, (A-9), 34-37.

GOUTEFONGEA R., 1980. Effect of the residual nitrite and packaging conditions on color stability in cooked ham. 26° Congrès Européen des Chercheurs en Viande - Colorado Springs, 31 août - 5 septembre, **2**, 219-222.

GRAIN J., SENAUD J., GROLIERE C.A. et JOUANY J.P., 1980. Implantation et développement des populations de protozoaires ciliés (*''Polyplastron multivesiculatum'', Entodinium* sp'' *''Isotricha prostoma''*) dans le rumen de moutons recevant différents régimes alimentaires : III. Considérations générales sur l'écosystème du rumen. *Protistologica* **16** (4) 501-506.

GROLIERE C.A., SENAUD J., JOUANY J.P., GRAIN J. et DE PUYTORAC P., 1980. Implantation et développement des populations de protozoaires ciliés (*''Polyplastron multivesiculatum'', Entodinium* sp'', *''Isotricha prostoma''*) dans le rumen de moutons recevant différents régimes alimentaires : II. Régimes à base de foin, enrichis en céréales, *Protistologica* **16** (3) 385-394.

GUILLOTEAU P., PATUREAU-MIRAND P., SAUVANT D., TOULLEC R., 1980. Protein digestion in the distal ileum and the terminal gut of the pre-ruminant calf. Proceedings of the 3rd EAAP Symposium on ''Protein, Metabolism and Nutrition'' Braunschweig, R.F.A., 1980, (1) 227-233.

HOULIER B., VALIN C., MONIN G., SALE P., 1980. Is electrical stimulation efficiency muscle dependent ? 26° Congrès Européen des Chercheurs en Viandes - Colorado Springs - 31 août - 5 septembre, **2** (J-5), 81-86.

JARRIGE R., BERANGER C., DEMARQUILLY C., DULPHY J.P., GEAY Y., HODEN A., JOURNET M., MALTERRE C., MICOL D., PETIT M., ROBELIN J., 1980. Le système des Unités d'Encombrement pour les Bovins, in ''Alimentation des Ruminants'', Edition I.N.R.A. Publication. Versailles, 601-621.

JARRIGE R., 1980. Chemical methods for predicting the energy and protein value of forages. in ''Energy and protein feeding standards applied to the rearing and finishing of beef cattle''. Proc. EEC Seminar Theix 1979, *Ann. Zootechn.*, **29**, n° h.s., 299-323.

JOURNET M., REMOND B., 1980. Influence de l'alimentation sur les fractions azotées du lait. *Le Lait*, LX, 140-159.

LACOURT A., TARRANT P.V., 1980. Selective glycogen depletion and recovery in skeletal muscle fibre types of young bulls subjected to a behavioural stress. in : ''the problem of dark cutting in beef''. Proc. EEC Seminar Bruxelles 1980. D. Hood and Tarrant, 417-429.

LAMAND M., 1980. Principales caractéristiques de la myopathie des jeunes ruminants (syndrome myopathie-dyspnée). *Bull. Soc. Sci. Vet. Med. Comp.* Lyon, **82**, n°5.

LE DIVIDICH J., VERMOREL M., NOBLET J., BOUVIER J.C., AUMAITRE A., 1980. Effects of environmental temperature on heat production energy retention, protein and fat gain in early weaned piglets. *Br. J. Nutr.*, 44, 313-323.

LE DIVIDICH J., NOBLET J., VERMOREL M., AUMAITRE A., 1980. Energy retention, protein and fat gain in early weaned piglets in relation to environmental temperature. Proc. 8th Symposium on ''Energy Metabolism'' Cambridge, 1979. Ed. L.E. Mount, 403-406.

LOISEAU P., MARTIN-ROSSET W., BECHET G., 1980. Effects of domestic herbivores on botanical composition of hill pasture. 8th general meeting E.G.F. (Zagreb 2-7 juin 1980) session 7, 79-86.

MASON J., LAMAND M., KELLEHER C.A., 1980. The fate of ^{99}Mo-labelled sodium tetrathiomolybdate after duodenal administration in sheep : the effect on caeruloplasmin (EC 1.16.3.1) diamine oxidase activity and plasma copper. *Br. J. Nutr.*, **43**, 515-523.

MIRAVET L., AYIGBEDE O., CARRE M., RAYSSIGUIER Y., LARVOR P., 1980. Lack of vitamin D action on serum calcium in magnesium deficient rats. in : CANTIN M., and M.S. SEELIG (Ed.) *Magnesium in health and disease Spectrum,* Jamaïca (N.Y.) 281-289.

MOLENAT G., MARTIN-ROSSET W., LOISEAU P., 1980. Sheep, cattle and horses on mountain pastures. Animal performances and systems of livestock production. 8 th general meeting. E.G.F. (Zagreb 2-7 juin 1980) session 7, 87-94.

MOLENAT G., PRUD'HON M., THIAULT M., 1980. Sheep on a *Quercus coccifera* bushy range in the south of France. 8th general meeting E.G.F. (Zagreb 2-7 juin 1980) session 7, 95-104.

MONIN G., GIRE P., 1980. Influence of injection of α -blocking agents on the muscle glycogenolysis during transport stress in lambs. 26° Congrès Européen des Chercheurs en Viandes - Colorado Springs - 31 août - 5 septembre, **1** (A-8), 30-33.

MONIN G., 1980. Double muscling and sensitivity to stress. in ''the problem of dark-cutting in beef''. Proc. EEC Seminar Bruxelles 1980. D. Hood and Tarrant, 199-212.

MONIN G., 1980. Muscle metabolic type and the DFD condition. in ''the problem of dark-cutting in beef''. Proc. EEC Seminar Bruxelles 1980. D. Hood and Tarrant, 63-85.

OBLED C., ARNAL M., VALIN C., 1980. Variations through the day of hepatic and muscular cathepsin A (carboxypeptidase A ; EC 3. 4. 12. 2), C (dipeptidyl peptidase ; EC 3. 4. 14. 1) and D (endopeptidase D ; EC 3. 4. 23. 5) activities and free amino acids of blood in rats : Influence of feeding schedule. *Br. J. Nutr.*, **44**, 61-69

PATUREAU-MIRAND P., PRUGNAUD J., BAYLE G., PION R., 1980. Influence of dictary histidine level on histidine metabolism in the preruminant calf. Proceedings of the 3rd EAAP Symposium on Protein Metabolism and Nutrition. Braunschweig, R.F.A., 1980, (1), 356-361.

POINDRON P., LE NEINDRE P., 1980. Endocrine and sensory regulation of maternal behaviour in the ewe. *Ad. Study of Behav.* **11**, 75-118.

POINDRON P., ORGEUR P., LE NEINDRE P., KANN P., RAKSANYJ I., 1980. Influence of the blood concentration of prolactin on the length of the sensitive period for establishing maternal behavior in sheep at parturition. *Horm. Behav.* **14**, 173-177.

PONCET C., RAYSSIGUIER Y., 1980. Effect of lactose supplement on the digestion of lucerne hay by sheep : sites of organic matter and nitrogen digestion. *J. Anim. Sci.,* **51**, 180-185.

RAYSSIGUIER Y., DEMIGNE C., REMESY C., PONCET C., 1980. The effect of fermentable carbohydrates on magnesium absorption. John Lee Pratt Internat. Symp. on magnesium Blacksburg. U.S.A.

RAYSSIGUIER Y., PONCET C., 1980. Effect of lactose supplement on the digestion of lucerne hay by sheep : absorption of magnesium and calcium in the stomach. *J. Anim. Sci.,* **51**, 186-192.

RAYSSIGUIER Y., LARVOR P., 1980. Hypomagnesemia following stimulation of lipolysis in ewes : effect of cold exposure and fasting. in ''CANTIN M. and M.S. SEELIN (ed.) *Magnesium in health and disease Spectrum,* Jamaïca (N.Y.) 67-72.

ROBELIN J., DAENICKE R., 1980. Variations of net requirements for cattle growth with liveweight, liveweight gain, breed and sex. in ''Energy and protein feeding standards applied to the rearing and finishing of beef cattle''. Proc. EEC Seminar Theix 1979. *Ann. Zootechn.* **29**, n° h.s., 99-118.

ROHR K., GEAY Y., 1980. Utilisation of feed protein. in ''Energy and protein feeding standards applied to the rearing and finishing of beef cattle''. Proc. EEC Seminar Theix 1979, *Ann. Zootechn.* **29**, n° h.s. 173-183.

SAFWATE A., DAVICCO Marie-Jeanne, BARLET J.P., DELOST P., 1980. Plasma sodium, potassium and aldosterone levels in newborn calves. *J. Physiol.,* Paris, **76**, 906-907.

SENAUD J., GROLIERE C.A., ZAINAB B., GRAIN J., JOUANY J.P., 1980. Implantation et développement des populations de protozoaires ciliés (''*Polyplastron multivesiculatum*'', *Entodinium* sp.'', ''*Isotricha prostoma*'') dans le rumen des moutons recevant différents régimes alimentaires : I. Régime luzerne-orge (40/50). *Protistologica* **16** (2), 329-337.

TALON R., LABADIE J., LARPENT J.P., 1980. Characterization of the inhibitory power of *Lactobacillus* of meat origin. *Zbl. Bakt., I. Abt. Orig.* **B 170**, 133-142.

TALMANT A., BRIAND M., MONIN G., DURAND R., 1980. Evolution of glycogen level, phosphorylase activity in various lamb muscles during growth. 26) Congrès Eurpéen des Chercheurs en Viandes - Colorado Springs - 31 août - 5 septembre, **1**, (A-3), 10-13.

TOULLEC R., THERIEZ M., THIVEND P., 1980. Milk replacers for calves and lambs. *Wld Anim. Rev.* **33**, 32-42.

VERMOREL M., BOUVIER J.C., GEAY Y., 1980. Energy utilization by growing calves : effects of age milk intake and feeding level. Proc. 8th Symp. on ''*Energy Metabolism*'' Cambridge, 1979. Ed. L.E. Mount,49-54.

VERMOREL M., BICKEL H., 1980. Utilisation of feed energy by growing ruminants. in : ''Energy and protein feeding standards applied to the rearing and finishing of beef cattle''. Proc. EEC Seminar Theix, 1979, *Ann. Zootechn.,* **29**, n° h.s., 127-144.

Les reproductions partielles ou complètes d'articles extraits de ce bulletin doivent être référencées avec précision. Les indications de référence figurent au haut de la première page de chaque article.

I.N.R.A. - Publications
C.N.R.A.
Route de St-Cyr
78000 VERSAILLES
Dépôt légal : 4e trimestre 1981
N° C.P.P.A.P. : 573 ADEP

Directeurs de la Publication
C. MALTERRE et A. HODEN